世界科技全景百卷书②

·科技史话系列·

数学与物理的发端

编写　王兴正

中国建材工业出版社

目　录

科学之王——数学

古印度数学的传说

数学是最集中、最深刻、最典型地反映了人类理性和逻辑思维所能达到的高度，所以，11世纪大数学家、物理学家和天文学家高斯说："数学是科学之王。"

话说在印度舍罕王时代，舍罕王发出命令：谁能发明一件让人娱乐，又要在娱乐中使人增长知识，使人头脑变得更加聪明的东西，本王就让他终身为官，并且皇宫中的贵重物品任其挑选。

于是乎，全国上下能工巧匠纷纷而动，发明创造的一件又一件东西被送到舍罕王的面前，但是没有一件让他满意。

这是一个风和日丽的早晨，舍罕王闲着无聊，便和众爱卿准备到格拉察湖去钓鱼。舍罕王忽然发现宰相西萨·班·达依尔没有同来，便问道："宰相干什么去了？"

"宰相因宫中有一件事未处理好，正在那里琢磨呢。"一个大臣答道。

舍罕王没有追问下去，便拿起鱼竿钓起鱼来，众爱卿均忙乎着，于是，一枝枝长竿便同指湖心。

这时，小湖起着微微的涟漪，湖面在阳光照射下，闪烁出金刚钻、绿宝石般的光芒，耀得人直眨眼。垂柳的枝条沐

浴在湖水之中，湖岸边长满了菖蒲。

不一会儿，薄云遮住了太阳，太阳仿佛骤然扭过脸去，不理睬小湖，于是湖泊、村庄和树林全都在刹那间黯淡下来；浮云一过，湖水便又闪闪发光，庄稼简直像镀上一层黄金。

舍罕王贪婪地吸着这乡野的新鲜空气，眼前的美景使他目不暇接，连鱼竿都横躺在湖面上了。正在这时，有人来报：宰相达依尔飞马来到。

达依尔匆匆下马，来到舍罕王的面前，禀道："陛下，为臣在家中琢磨了许多天，终于发明了象棋，不知大王满意否？"

舍罕王一听此言，连忙说道："什么象棋，赶快拿来看看。"

原来这位宰相有着超人的智慧和聪明的头脑，尤其喜爱发明创造以及严密的数学推理。他发明的象棋是国际象棋，整个棋盘是由64个小方格组成的正方形。

国际象棋共32个棋子，每方各16个，它包括王一枚、王后一枚、仕两枚、马两枚、车两枚、卒八枚。双方的棋子在格内移动，以消灭对方的王为胜。

舍罕王看到此物后，喜不胜收，连忙招呼其他大臣与他对弈，一时间，马腾蹄、卒拱动，车急驰，不一会，舍罕王大胜。

舍罕王于是打算重赏自己的宰相，便说道："官不能再封了，你已做到顶了，如再要封，恐怕只有我让位了。现在重赏你财物，你要些什么？"

宰相"扑通"跪在国王面前说："陛下，为臣别无他求，只请您在这张棋盘的第一个小格内，赏给我一粒麦子，在第二个小格内给二粒，第三格内给四粒，第四格内给八粒。总之，每一格内都比前一格加一倍。陛下啊，把这样摆满棋盘

上所有 64 格的麦粒，都赏给我，我就心满意足了。”

看来，这位聪明的宰相胃口并不大，于是国王说道：“爱卿，你所求的并不多啊，你当然会如愿以偿的。”

国王心里为自己对这样一件奇妙的发明，所许下的慷慨赏诺不致破费太多而暗喜。便令人把一袋麦子拿到宝座前。

计数麦粒的工作开始。第一格放一粒，第二格两粒……，还不到第 20 格，袋子已经空了。一袋又一袋的麦子被扛到国王面前。

但是，麦粒数一格接一格地增长得那样迅速，开始是人扛，后来是马车拉，再后来，干脆一个粮库也填不满一个小格。很快就可以看出，即便拿来全印度的粮食，国王也兑现不了他对宰相许下的诺言了。

这到底是怎么回事，让我们来算一算这位宰相到底要多少麦粒：

$$1+2+2^2+2^3+2^4+\cdots\cdots+2^{62}+2^{63}$$

上面这个算式就是宰相所需要的麦粒，让我们用现代的数学方法算出其结果，即：

$$\frac{2^{64}-1}{2-1}=2^{64}-1=18,446,744,073,709,551,615。$$

这个数字不像宇宙间的原子总数那样大，不过也已经够可观的。1 蒲式尔（约 35.2 升）小麦约有 500 万颗，照这个数，那就得给宰相拿来四万亿蒲式尔才行。

这位宰相所要求的，竟是全世界在 2000 年内所生产的全部小麦！

这样一来，舍罕王觉得自己金言一出，又不能兑现，怎么办？一大臣献计，找个原因杀他的头。宰相西萨·班·达

依尔的头就这样被献上数学的祭坛。

上面这个故事可能是前人所编，只是传说。但它说明一个问题，就是说古印度在数学科学方面，已有相当大的成就。

中国古代的数学

中国古代从“结绳记事”时起，就有了初步的数学。古代甲骨文、金文中就有了记数的符号。如有“1”、“11”、“十”等记数法，这些记号可从出土的彩陶上得到证实。

中国古代的进位制主要是十进位。无论是进位制还是长度都与古人的生理结构直接有关，如人的手指、脚趾都是十个等。

中国古代对“几何学”的认识也非常早，如他们使用的石器、骨器、陶器以及住宅、坟墓等，都具有一定的几何形状。

中国古代原始社会晚期对数和形的初步认识，以及他们制做各种形状并有一定比例的用具时，就出现了初等数学的萌芽。

到了夏、商、周时期，我国的记数方式以十进位的方式从一记到万。如用一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、百、千、万等的组合来记十万以内的自然数。

在这一时期，商代的数学系统比古巴比伦、古埃及同时代更先进、更科学。

大约在西周时期，出现了一种十分重要的计算方法——筹算。筹算是用算筹来进行的。算筹是圆形竹棍，直径约 0.2 厘米，长约 14 厘米，以 271 根为一“握”。

在这一时期，还出现了简单的四则运算，这在数学史上，应该说是一件非常了不起的事情，是一个创举。

而春秋战国时期数学的进步主要表现在四则运算的完善和计算工具的进步方面。如在出土的战国楚墓里，有一个竹筒，内装毛笔、铜削、天平、砝码、算筹等。

总之，当时在数学上既有工具，又有符号，还有部分口诀，如把这些成就和其他地区比较，可以明显看出是处于先进地位。

到了秦汉时期，我国的数学科学有了重大进步，这表现在许多数学专著的出现。这一时期，有我国最早的天文数学专著《周髀算经》、《九章算术》等。

在《周髀算经》中，有一段被尊为古代圣人的周公同一个名叫商高的数学家的对话，在对话中就提到了勾股弦定理，也即毕达哥拉斯定理。

这个定理，就是“直角三角形斜边平方等于两个直角边平方之和”，这个定理在中国也被称作是“商高定理”。

下面简要介绍商高定理部分，周公和商高的部分对话：

周公：“我听说你很精通数的艺术。可否请您谈谈古人是怎样测定天球度数的？没有一种梯子可以使人攀登上天，地也无法用尺来测量。这些数据从何而来？”

商高：“数的艺术从圆形和方形开始，圆形出自方形，而方形又出自矩形，矩形出自 9×9＝81 这个事实。

“假如把矩形的对角线切开，让宽等于 3 个单位长，长等于 4 个单位，那么对角线的长度就是 5 个单位。古代大禹用来治理天下的方形，就是从这些数字中发展出来的。”

周公感叹地说：“数学这门艺术真是了不起啊！我想再请

教怎样应用直角三角尺？”

商高：“使直角三角尺平卧在地上，可以用绳子设计出平直的和方形的工程。把直角三角尺竖立起来，可以测量高度。倒立的直角三角尺可以用来测量深浅，而平放着就可以测量距离。让它旋转，就可以画圆；把几个合起来，就可以得到正方形和长方形。”

周公：“这真是太奇妙了！”

《周髀算经》的伟大不仅仅在于对数学知识的阐述，更重要的是在占星术和卜筮占支配地位时，他们在讨论天地现象时，却丝毫不带有迷信色彩！

这部数学专著还谈到日影、不同纬度上日影的长度差、用窥管测量太阳直径等等，还列出了一年中各个节气的日影长度表。

《九章算术》

和《周髀算经》几乎同时，还有一部数学专著，科学史上称它为《九章算术》，这是我国第一部最重要的数学专著。

《九章算术》大约成书于东汉初年，书中载有 246 个应用题目的解法，涉及到算术、初等代数、初等几何等多方面内容。

其中所载述的分数四则运算、比例算法、用勾股定理解决一些测量中的问题等，都是当时世界最高科学水平的工作。而关于负数的概念和正负数加减法则的记载，也是世界数学科学史中最早的。

书中还讲述了开平方、开立方、一元二次方程的数值解

法、联立一次方程解法等许多问题。《九章算术》在我国古代数学史上有很大影响，在世界数学史上也占有重要地位。

《九章算术》大致可分为9个方面内容：

（1）土地测量。书中列有直角三角形、梯形、三角形、圆、弧与环形等，并给出计算这些形状面积的方法。

（2）百分法和比例，根据比例关系来求问题答案。

（3）算术级数和几何级数。

（4）处理当图形面积及一边长度已知时，求其他边长的问题。还有求平方根、立方根等问题。

（5）立体图形体积的测量和计算，实际计算的有墙、城墙、堤防、水道和河流等。

（6）解决征收税收中的数学问题。像人们从产地运送谷物到京城交税所需的时间等有关问题，还有按人口征税的问题。

（7）过剩与不足的问题。也就是解决 $ax+b=0$ 的问题。

（8）解方程和不定方程。

（9）直角三角形的性质。

在“直角三角形的性质”这一章中，有这样一个问题：

一个水池，长宽各一丈，有棵芦苇生在池中央，芦苇出水面一尺高，让芦苇倒向池边，正好芦苇尖与池边平齐。问水有多深？

这个问题后来又见于印度的数学著作中，又传到了中世纪的欧洲。解决此问题只有利用相似直角三角形来完成。

《九章算术》对中国古代数学发生的影响，正像古希腊欧几里得《几何原本》对西方数学所产生的影响一样，是非常深刻的。

在此后的一千多年的时间里，它一直被直接作为教科书使用。日本、朝鲜也都曾用它作教科书。各代学者都十分重视对这部算书的研究，在欧洲和阿拉伯的早期数学著作中，过剩与不足问题的算法，就被称为“中国算法”，可见其独创性。

我国古代杰出的数学家

到了三国两晋南北朝时代，我国的数学科学已闪烁着耀眼的光芒，出现了历史上杰出的数学家刘徽和祖冲之。这两个不朽的人物为我国数学奠定了牢固的基础。

先说刘徽，他是三国时代魏国人。关于他的身世和生平事迹，由于资料有限，我们了解得很少。他的活动区域大致在山东半岛和江苏北部一带。

刘徽自幼熟读《九章算术》，在魏陈留王景元四年(263)前后，为我国古代数学经典著作《九章算术》作注，做了许多创造性的数学理论工作，对我国古代数学体系的形成和发展影响很大，在数学史上占有突出的地位。

《九章算术》体现了中国古代自先秦到东汉以来的数学成就。但当时没有发明印书的方法，这样好的书也只能靠笔来抄写。

在辗转传抄的过程中，难免会出现很多的错误，加上原书中是以问题集的形式编成，文字过于简单，对解法的理论也没有科学的说明。这种状况明显地妨碍了数学科学的进一步发展。

刘徽为《九章算术》作注，在很大程度上弥补了这个重大的缺陷。在《九章算术注》中，他精辟地阐明了各种解题

方法的道理，提出了简要的证明，指出个别解法的错误。

尤其可贵的是，他还做了许多创造性的工作，提出了不少远远超过原著的新理论。可以说，刘徽的数学理论工作为建立具有独特风格的我国古代数学科学的理论体系，打下了坚实的基础。

刘徽在《九章算术注》中，最主要的贡献是创立了“割圆术”，为计算圆周率建立了严密的理论和完善的算法，开创了圆周率研究的新阶段。

圆周率即圆的周长和直径的比率，它是数学上的一个重要的数据，因此，推算出它的准确数值，在理论上和实践上都有重要的意义和贡献。

在世界数学史上，许多国家的数学家都曾经把圆周率作为重要研究课题，为求出它的精确数值作了很大努力。在某种意义上说，一个国家历史上圆周率精确数值的准确程度，可以衡量这个国家数学的发展情况。

《九章算术》原著中，沿用自古以来的数据，即所谓“径一周三”取 $\pi=3$，这是很不精确的。到了后来，三国时期的王蕃（230～266）采用了3.1566，这虽然比“径一周三”有了进步，但仍不够精密，而且也没有理论根据。

怎样才能算出比较精密的圆周率呢?刘徽苦苦地思索着。

一天，刘徽信步走出门去，去大自然呼吸新鲜的空气。在他的眼前，群山绵绵不断地伸展开去，好像数学哲理似的奥妙莫测。

刘徽的思路仿佛进入群山的巍峨中，鉴证着大自然的不可思议的创造。刘徽抬眼望去，远处一个高耸入云的顶峰上，有一座小小的庙宇，他猜测着，数学的殿堂是不是也和这庙

字一样，风光而又曲折。

一阵叮叮当当的响声引起了刘徽的注意，他朝着响声走去，原来这是座石料加工场。这里的石匠师傅们正把方形的石头打凿成圆柱形的柱子。

刘徽颇感有趣，蹲在石匠师傅的身边认真地观看着。只见一块方石，经石匠师傅砍去四角，就变成一块八角形的石头，再去掉八角又变成十六角形，这样一凿一斧的干下去，一方形石料加工成光滑的圆柱了。

刘徽恍然大悟，马上跑回家去，认真地在地上比划着，原来方和圆是可以互相转化的。

他把一个圆周分成相等的6段，连接这些分点组成圆内正六边形，再将每一分弧二等分，又可得到圆内接正12边形，如此无穷尽地分割下去，就可得到一个与圆完全相合的正"多边形"。

刘徽由此指出：圆内接正多边形的面积小于圆面积，但"割之弥细，所失弥少。割之又割，以至于不可割，则与圆周合体，而无所失矣。"

这段话包含有初步的极限思想，思路非常明晰，为我国古代的圆周率计算确立了理论基础。

综合上面的论述，刘徽实际上建立了下面的不等式：

$$S_{2n}<S<S_{2n}+(S_{2n}-S_n)$$

这里S是圆面积，S_{2n}、S_n是圆内接正多边形的面积，n是边数。

刘徽使用了这个方法，从圆内接正6边形算起，边数依次加倍，直到正192边形的面积，得到的圆周率π的近似值是157/50，这相当于$\pi\doteq 3.14$。

他还继续计算，直到求出了正3072边形的面积，进一步得到π的近似值是3927/1250，这相当于π≐3.1416。

3.14和3.1416这两个数据的准确程度比较高，在当时世界上是很先进的数据。

刘徽还明确地概括了正负数的加减法则，提出了多元一次方程组的计算程序，论证了求最大公约数的原理，对最小公倍数的算法也有一定的研究。

这些都是富有创造性的成果，因此可以说，刘徽通过注解《九章算术》，丰富和完善了中国古代的数学科学体系，为后世的数学发展奠立了基础。

刘徽撰写的《重差》，原是《九章算术注》的第十卷，后来单独刊行，被称作《海岛算经》。这是一部说明各种高度或距离的测量和计算方法的著作。就是关于几何测量方面的著作。

有一次，刘徽和朋友们到海边去散步，刘徽抬眼望去，那是一片伟丽而宁静的、碧蓝无边的海。它在眼光所及的远处，与淡蓝色的云天相连。

微风爱怜地抚摸着海的绸缎似的胸膛，太阳用自己的热烈的光线温暖着它。而海，在这些爱抚的温柔力量之下睡梦似的喘息着，使沸热的空气充满了蒸发的盐味。

淡绿的波浪跑到黄沙上来，抛掷着雪白的泡沫，吻着刘徽及朋友们的脚，刘徽心旷神怡，索性坐在沙滩上，让那微咸的海水润湿着裤脚。

这时，一个朋友指着茫茫大海中耸立着的一座孤岛问道："谁知道小岛有多高？多远？"另一朋友想了想："只要准备一只小船和足够的绳子，我就能量出小岛的距离和高度。"

众人哄地笑了起来，这得需要多少绳子，即使给你绳子，你也量不出小岛的距离和高度。因为绳子有伸缩性，而小岛有斜坡。再说，这办法也太笨了。

这时，刘徽在一旁沉默不语，有人请他发表意见。刘徽说："我根本不需要到小岛去，只需两根竹竿，即可量出它的高和远。"

朋友们睁大双眼愣愣的望着刘徽，刘徽见朋友不相信他，便在水滩上画出图来。

然后解释道："在岸边垂直竖立两根一样长的杆子 GH 和 EF，使它们与小岛 AB 位于同一方向上，然后分别在与两杆顶 E、G 与岛尖 A 成一直线的地面 C 和 D 点作记号，便可以了。

这样一来 CF、DH、HF、EF 的长度我们都可量出来，现在来算出岛的距离 BF 和岛的高度 AB，刘徽算出的结果是：

$$AB=\frac{EF\times HF}{DH-CF}+EF;$$

$$BF=\frac{CF\times HF}{DH-CF}。$$

具体怎样计算，我们就不再一一赘述了，读者诸君如有兴趣的话，不妨一试，来证明刘徽的公式。

刘徽在《九章算术注》的自序中说："事类相类，各有攸归。故枝条虽分，而同本干者，知发其一端而已。"

刘徽的研究方法和研究成果对我国古代数学的发展产生了非常深刻的影响，为我国数学科学史增添了光辉的一页。

近年来，国内外出版了许多种关于研究的专集和专著，他的《九章算术注》和《海岛算经》被翻译成许多国家的文字，向世界显示了中华民族灿烂的古代文明。

刘徽之后约 200 年，我国南北朝时期又出现了一位大科学家祖冲之。他认为刘徽采用割圆术只算到正 3072 边形就停止了，得出的结果还是不够准确。

如果能在刘徽 3072 边形的基础上割之又割，作出 6144、12288……边形，不就可以求出更精确的圆周率吗？

祖冲之不满足于前人的成就，决定攀登新的高峰。他通过长期刻苦钻研，在儿子祖暅的协助下，反复测算，终于求得了精确度更高的圆周率。

《隋书·律历志》记载了他的成就：

“宋末，南徐州从事史祖冲之更开密法，以圆径一亿为一丈，圆周盈数 3 丈 1 尺 4 寸 1 分 5 厘 9 毫 2 秒 7 忽（3.1415927 丈），朒数 3 丈 1 尺 4 寸 1 分 5 厘 9 毫 2 秒 6 忽（3.1515926 丈），正数在盈朒之间。密律：圆径 113，圆周 355。约律：圆径 7，周 23。”

从上述文字记载来看，祖冲之对圆周率贡献有 3 点：

1. 计算出圆周率在 3.1415926 到 3.1415927 之间，即 $3.1415926<\pi<3.1415927$，在世界数学史上第一次把圆周率推算准确到小数点后 7 位。

这在国外直到 1000 年后，15 世纪阿拉伯数学家阿尔·卡西计算到小数 16 位，才打破祖冲之的纪录。

2. 祖冲之明确地指出了圆周率的上限和下限，用两个高准确度的固定数作界限，精确地说明了圆周率的大小范围，实际上已确定了误差范围，这是前所未有的。

3. 祖冲之提出约率 20/7 和密率 355/113。这一密率值是世界上第一次提出，所以有人主张叫它“祖率”。在欧洲，德国人奥托和荷兰人安托尼兹得到这一结果，已是 16 世纪了。

祖冲之是怎样得出这一结果的呢？他应该是从圆内接正6边形、12边形、24边形……一直计算到12288边形和24576边形，依次求出它们的边长和面积。

这需要对有9位有效数字的大数进行加减乘除和开方运算，共一百多步，其中近50次的乘方和开方，有效数字达17位之多。

当时，数字运算还没有用纸、笔和数码，而是用落后的筹算法。通过纵横相间的小竹棍来演算，可见祖冲之付出多么艰巨的劳动，需要具备多么严肃认真的精神。

祖冲之和他的儿子祖暅还用巧妙的方法解决了球体积的计算问题。在他们之前，《九章算术》中已经正确地解决了圆面积和圆柱体体积的计算问题。

但是在这本书中，关于球体积的计算公式却是错误的。刘徽虽然在《九章算术注》中指出了这个错误，但是也未能求出球体积的计算公式。

200年后，祖冲之父子继续刘徽的工作，在我国数学史上第一次导出了正确的球体积公式。值得注意的是，祖暅在推算求证的过程中，得出了“等高处的横截面积相等，那么二个立体的体积必然相等”的结论。

这个问题在1000年后才由意大利数学家卡瓦列利提出，被人称为“卡瓦列利定理”，其实我们完全有权利称它为“祖暅定理”。

祖冲之父子的研究成果汇集在一部名叫《缀术》的著作中，被定为“十部算经”之一。可惜的是，到了宋朝以后，这部伟大的著作就失传了。

祖冲之的科学成就，在我国以至世界科学技术发展史上，

将永远放射光芒。为了纪念这位伟大的科学家，国际上把月球背面的一个山谷，命名为“祖冲之”，可见人们对祖冲之的敬仰。

李淳风与数学

到了隋唐五代时期，数学科学有了较大的发展，在这一时期，国家创办的学校中设置了数学教育，在科举中有“明算科”。

在数学教育时，学生主要学习十部算经：《九章算术》、《海岛》、《孙子》、《五曹》、《张邱建》、《夏侯阳》、《周髀算经》、《五经算》、《缀术》、《缉古算经》等。

其中《缉古算经》是唐代著名数学家王孝通的专著，其他算经均是前人所著。在《缉古算经》中，王孝通已经提出解三次（高次）方程的问题。

在数学科学上有特出贡献的要算是唐高宗时代的李淳风。他的贡献倒不是在数学上有多大才能，而是注释和校核了《算经十书》。

唐朝初年，统治者为了培养能够胜任计算工作的低级官员，决定开设专门考试数学的“明算科”。并在国子监中设置算学馆，招收“算学生”学习数学。

一开始，考试和学习都没有统一教材，于是李淳风奉命与梁述等人一起编辑整理一套规范的数学教材，它们就是我们上面介绍的十部算经。

这是一项十分艰巨的工作，因为这些书不是成于一时一世，古代又没有发明印刷术，全凭人手来抄，工程巨大。

另外，由于时代的局限性，古人的著作中也难免会有一些错误，如果完全照搬下来岂不是误人子弟？

因此，李淳风在这项工作中，不但对各种抄本进行了认真的核对，而且还校正了若干错误，为当时的“算学生”和后人的学习带来了极大的便利。

更重要的是，他把自己对某个数学问题的见解与其他后学者的科学成就以注解的形式附于有关正文之后，为中华民族的文化宝库保存了不少瑰丽的珠宝。

其中最有代表性的要算祖暅推导球体积公式的记载，原来祖暅的成就和祖冲之一起被记载在《缀术》中，但后来《缀术》失传，只能从李淳风的注释中得知。

纵观中国古代数学，自《九章算术》成书后出现了两个高潮期：一是我们前面说过的魏晋南北朝，一是我们马上就要谈到的宋朝和元朝。

在第一个高潮期，以“算经十书”为代表的中国古代数学体系已经形成；第二个高潮期将要出现一系列具有世界意义的成果。李淳风正是处于这两个高潮期之间的一个最为关键的人物。

设想一下，如果没有唐初李淳风校注的“算经十书”，可能也不会有北宋年间的大量的刊刻算书和数学知识的普及，那么宋元时代的数学发展也许会推迟。

因此，李淳风在中国数学史上占有不容忽视的地位。

另外，隋唐五代时的应用数学发展较快，在历法和天体的计算中，徐昂于公元 822 年创立了二次内插法，并把数学用于税收、工商业活动的大量的实际计算中。

秦九韶的高次方程

公元1819年7月1日，英国人霍纳在皇家学会宣读了一篇数学论文，提出了一种解任意高次方程的巧妙方法，一时引起了英国数学界的轰动。

由于这一方法有其独到之处，而且对数学科学有很大的推进作用，因而这一方法被命名为“霍纳方法”。

但是没过多久，意大利数学界就提出了异议，因为他们发现自己的同胞鲁非尼已在15年前就得到了同样的方法，只是没有及时地报道罢了。

因此，意大利数学界要求将这一数学方法命名为“鲁非尼方法”。于是英、意双方开始了喋喋不休的争论。

正巧，有个阿拉伯人前往欧洲，听到了双方的争论后，不置可否地大笑起来。争论双方问他，为何这般嘲笑。

这位阿拉伯人从背包中掏出一本书，递与争论双方，说道：“你们都不要争了，依我看来，这个方法应该称作‘秦九韶方法’”。

他们这才知道，早在570多年前，有个叫秦九韶的中国人就发明了这种方法。双方觉得他们的这场争论已显得毫无意义了。

秦九韶，生于1202年，南宋普州安岳（今四川安岳）人。他自幼随做官的父亲周游过许多地方。20岁的时候，秦九韶随父亲来到南宋的都城——临安（今杭州）。

秦九韶被父亲送到掌管天文历法的太史院学习。在这里，他了解了制定历法的一些基本算法和理论依据，这对于他后

来写作著名的《数书九章》大有益处。

后来他回到四川老家，在一个县城里当县尉，这时，北方的元兵大举进犯，战乱频繁。他在这种动乱的环境中度过他的壮年。后来他在《数书九章》中写了“天时”和“军旅”等问题，想必与这段生活有关。

过了几年，秦九韶的母亲去世了，他按照封建社会的传统，回家为母亲守孝三年。正是在这段时间里，秦九韶完成了他的辉煌的数学著作——《数书九章》。

《数书九章》共分九大类，每类各有九题，全书共有 81 道数学题目，内容包括天时、军旅、赋役、钱谷、市易等类问题。

在这 81 道题目中，有的题目比较复杂，但题后大多附有算式和解法。正是在这些解法中包含着许多杰出的数学创造，高次方程的解法就是其中最重要的一项。

高次方程就是未知数的最高次幂在 3 次以上的。对于一元二次方程，我们可以用求根公式来解，三、四次的求根公式很复杂，至于五次以上的方程，那就没有求根公式。

那么用什么办法来解决呢？秦九韶创造的这种解法是一种近似的解法，但是它能够把结果算到任意精确的程度，只要你按照一些简单的程序，反复地进行四则运算即可。

除了高次幂方程的解法之外，这本书中的另一项伟大成就是关于同余式方面的工作。什么叫同余式呢？

我们还是从“韩信点兵”的故事来说起：传说汉代开国功臣韩信有一次到练兵场，只见军士们龙腾虎跃，你来我往，好不热闹。

韩信问带兵的军官：“你们这里共有多少士兵？”

军官说："人太多太乱，数不准确。"

韩信说："你把令旗给我，我来给你点数。"

军官一听，慌忙将令旗奉上，只见韩信挥起令旗，命令道："排一长队。"

韩信见军士们已排好长队，便交待道："先从 1 到 3 报数，再从 1 到 5 报数，最后从 1 到 7 报数。报完后，把剩余的人数告诉我，我便知总的军士人数。

于是，军士们便认真地报起数来，第一报数后余 2；第 2 报数后余 3，第 3 报数后余 2，韩信掐指一算，共计 233 人。

其实，"韩信点兵"问题又叫"孙子问题"，最早出现在公元 4 世纪的数学著作《孙子算经》中。原来的问题是这样表述的：

"有物不知其数，三个一数余 2，五个一数余 3，七个一数余 2，问该物总数几何？"

这个问题按照现在的人可以列出方程来：设总数为 N，X 为 3 人一数的次数，Y 为 5 人一数的次数，Z 为 7 人一数的次数，则：

$$N=3x+2 \quad N=5y+3 \quad N=7z+2$$

三个方程式，但却有四个未知数，这就叫不定方程。解不定方程在现代数论中有一个著名定理：剩余定理。

但这个问题出现在公元 4 世纪的中国算书中，他们虽然给出了算法，但却没有明确地表述和证明这个定理。

到公元 13 世纪，大数学家秦九韶集前人之大成，在同余式的研究上获得了超越前人的成果。

什么叫同余式呢？在上面的故事中，如果三人一组剩 2 人，那么总人数可能是 5、是 8、也可能是 11……。

换句话说，5、8、11……这些数被 3 除后余数相等，那么我们就说 5、8、11……等数对于 3 是同余的，用数学符号写出来就是 $5\equiv8\equiv11 \pmod 3$，这个式子叫同余式。

秦九韶在写作《数书九章》时，把当年在太史局学到的天文学知识与《孙子算经》的数学问题结合起来，发展了同余式的理论和算法，从而圆满解决了韩信点兵之类问题。

秦九韶还有许多数学创造，他是世界上最早提出十进小数概念和表示法的人。他还独立地推导出已知三边求三角形面积的公式：

$$S=\sqrt{\frac{1}{4}\left[a^2b^2-\left(\frac{a^2-b^2-c^2}{2}\right)^2\right]}$$（a、b、c 为三角形三边）

秦九韶在多元一次方程组和几何测量方面也有创新。他是世界上最伟大数学家之一，《数书九章》标志着中国的古代数学达到了一个新的高峰。

杨辉与数学

宋元数学四大家之一的杨辉，他是世界上第一个排出丰富的纵横图和讨论其构成规律的数学家。

说起杨辉的这一成就，还得从偶然的一件小事说起。

一天，台州府的地方官杨辉出外巡游，路上，前面铜锣开道，后面衙役殿后，中间，大轿抬起，好不威风。

迷人的春天慷慨地散布着芳香的气息，带来了生活的欢乐和幸福。杜鹃隐藏在芒果树的枝头。用它那圆润、甜蜜、动人心弦的鸣啭来唤醒人们的希望。

成群的画眉鸟像迎亲似的蹲在树的枝丫上，发出婉丽的啼声。楝树、花梨树和栗树都仿佛被自身的芬芳熏醉了。

杨辉撩起轿帘，看那杂花生树，飞鸟穿林，真乃春色怡人淡复浓，唤侣黄鹂弄晓风。更是一年好景，旖旎风光。

走着、走着，只见开道的镗锣停了下来，前面传来孩童的大声喊叫声，接着是衙役恶狠狠的训斥声。杨辉忙问怎么回事，差人来报："孩童不让过，说等他把题目算完后才让走，要不就绕道。"

杨辉一看来了兴趣，连忙下轿抬步，来到前面。衙役急忙说："是不是把这孩童哄走？"

杨辉摸着孩童头说："为何不让本官从此处经过？"

孩童答道："不是不让经过，我是怕你们把我的算式踩掉，我又想不起来了。"

"什么算式？"

"就是把 1 到 9 的数字分三行排列，不论直着加，横着加，还是斜着加，结果都是等于 15。我们先生让下午一定要把这道题做好。我正算到关键之处。"

杨辉连忙蹲下身，仔细地看那孩童的算式，觉得这个数字，从哪见过，仔细一想，原来是西汉学者戴德编纂的《大戴礼》书中所写的文章中提及的。

杨辉和孩童俩人连忙一起算了起来，直到天已过午，俩人才舒了一口气，结果出来了，他们又验算了一下，觉得结果全是 15，这才站了起来。我们把算式摆出来：

4	9	2
3	5	7
8	1	6

（在左边的方块中，无论你横、竖、斜着加、结果都是15。请试一下）

孩童望着这位慈祥和善的地方官说："耽搁你的时间了，到我家吃饭吧！"

杨辉一听，说："好，好，下午我也去见见你先生。"

孩童望着杨辉，泪眼汪汪，杨辉心想，这里肯定有什么蹊跷，温和地问道："到底是怎么回事？"

孩童这才一五一十把原因道出：原来这孩童并未上学，家中穷得连饭都吃不饱，哪有钱读书。而这孩童给地主家放牛，每到学生上学时，他就偷偷地躲在学生的窗下偷听，今天上午先生出了这道题，这孩童用心自学，终于把它解决了。

杨辉听到此，感动万分，一个小小的孩童，竟有这番苦心，实在不易。便对孩童说："这是10两银子，你拿回家去吧。下午你到学校去，我在那儿等你。"

下午，杨辉带着孩童找到先生，把这孩童的情况向先生说了一遍，又掏出银两，给孩童补了名额，孩童一家感激不尽。自此，这孩童方才有了真正的先生。

教书先生对杨辉的清廉为人非常敬佩，于是俩人谈论起数学。杨辉说道："方才我和孩童做的那道题好像是《大戴礼》书中的？"

那先生笑着说："是啊，《大戴礼》虽然是一部记载各种礼仪制度的文集，但其中也包含着一定的数学知识。方才你说的题目，就是我给孩子们出的数学游戏题。"

教书先生看到杨辉疑惑的神情，又说道："南北朝的甄鸾

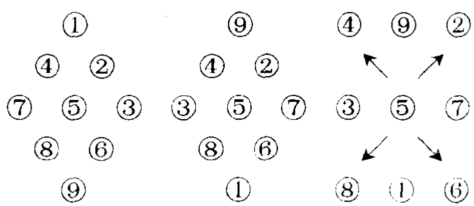
在《数术记遗》一书中就写过："九宫者，二四为肩，六八为足，左三右七，戴九履，一五居中央。"

杨辉默念一遍，发现他说的正与上午他和孩童摆的数字一样，便问道："你可知道这个九宫图是如何造出来的？"

教书先生也不知出处。杨辉回到家中，反复琢磨，一有空闲就在桌上摆弄着这些数字，终于发现一条规律。

他把这条规律总结成四句话：九子斜排，上下对易，左右相更，四维挺出"。就是说：一开始将九个数字从大到小斜排三行，然后将 9 和 1 对换，左边 7 和右边 3 对换，最后将位于四角的 4、2、6、8 分别向外移动，排成纵横三行，就构成了九宫图。

下面我们演示一下：



（九子斜排）（上下对易，左右相更）（四维挺出）

按照类似的规律，杨辉又得到了"花 16 图"，就是从 1 到 16 的数字排列在四行四列的方格中，使每一横行、纵行、斜行四数之和均为 34。读者诸君，不妨一试。

后来，杨辉又将散见于前人著作和流传于民间的有关这类问题加以整理，得到了"五五图"、"六六图"、"衍数图"、"易数图"、"九九图"、"百子图"等许多类似的图。

杨辉把这些图总称为纵横图，并于 1275 年写进自己的数学著作《续古摘奇算法》一书中，并流传后世。

纵横图，也叫幻方，它要求把从1到n^2个连续的自然数安置在n^2个格子里，使纵、横、斜各线上的数字和等于$\frac{n(1+n^2)}{2}$，这其中包含着很深刻的道理。

但长期以来，人们习惯于把它当作纯粹的数学游戏，没有给予应有重视。随着近代组合数学的发展，纵横图显示了越来越强大的生命力，在图论、组合分析、对策论、计算机科学等领域中，找到了用武之地。

杨辉可以说是世界上第一个给出了如此丰富的纵横图和讨论了其构成规律的数学家。

杨辉除此成就之外，还有一项重大贡献，就是"杨辉三角"。

有一次，杨辉得到一本《黄帝九章算法细草》，这是北宋数家贾宪写的。这里面有不少了不起的成就，如贾宪描画了一张图，叫作"开方作法本源图"。

1

1　1

1　2　1

1　3　3　1

1　4　6　4　1

1　5　10　10　5　1

1　6　15　20　15　6　1

图中的数字排列成一个大三角形，位于两腰上的数字均是1，其余数字则等于它上面两数字之和。

从第二行开始，这个大三角形的每行数字，都对应于一组二项展开式的系数，下面试举例说明：

在第三行中，1、3、3、1，这4个数字恰好是对应于$(X+1)^3=X^3+3X^2+3X+1$；

再如第四行对应于$(X+1)^4=X^4+4X^3+6X^2+4X+1$。以此类推。

杨辉把贾宪的这张画忠实地记录下来，并保存在自己的《详解九章算术》一书中。

后来人们发现，这个大三角形不仅可以用来开方和解方程，而且与组合、高阶等差级数、内插法等数学知识都有密切关系。

在西方，直到16世纪才有人在一本书的封面上绘出类似的图形。法国数学家巴斯加在1654年的论文中详细地讨论了这个图形的性质，所以在西方又称“巴斯加三角”。

杨辉除上述成就外，还分别写了《日用算法》、《乘除通变本末》和《田亩比类乘除捷法》等书，这为后世的人们了解当时的数学面貌提供了极为重要的资料。

杨辉的几部著作极大地丰富了我国古代数学宝库，为数学科学的发展做出了卓越的贡献，他不愧为“宋元四大家”之一。

朱世杰的《四元玉鉴》

朱世杰是元朝一位杰出的数学科学家。

朱世杰，字汉卿，号松庭，燕山（今北京）人氏。他长期从事数学研究和教育事业，以数学名家周游各地20多年，四方登门来学习的人很多。他的主要著作有《算学启蒙》三卷和《四元玉鉴》三卷。

说起朱世杰周游各地，这里还有一段鲜为人知的佳话，我们把这段佳话介绍给读者。

13世纪末，历经战乱的祖国为元王朝所统一，遭到破坏的经济和文化又很快繁荣起来。蒙古统治者为了兴邦安国，便尊重知识，选拔人才，把各门科学推向新的高峰。

有一天，风景秀丽的扬州瘦西湖畔，来了一位教书先生，在寓所门前挂起一块招牌，上面用大字写着："燕山朱松庭先生，专门教授四元术"。

不几天，朱世杰门前门庭若市，求知者络绎不绝，就在朱世杰在接待学生报名之时，突然一声声叫骂声引起他的注意。

只见一穿绸戴银半老徐娘，追着一年轻的姑娘，边打边骂："你这贱女人，大把的银子你不抓，难道想做大家闺秀，只怕你投错了胎，下辈子也别想了。"

那姑娘被打得皮开肉绽，连内身衣服都被撕坏了。姑娘蜷成一团，任凭她打，也不跟她回去。

朱世杰路见不平，便上前询问，那半老徐娘见冒出一个爱管闲事之人，就嘲笑道："你难道想抱打不平，你送上50两银子，这姑娘就归你了！"

朱世杰见此情景，大怒道："难道我掏不出50两银子。光天化日之下，竟胡作非为，难道没有王法不成？"

那半老徐娘讽刺道："你这穷鬼，还谈什么王法，银子就是王法，你若能掏出50两银子，我便不打了。"

朱世杰愤怒已极，从口袋里抓出50两银子，摔在半老徐娘面前，拉起姑娘就回到自己的教书之地。

原来，那半老徐娘是妓女院的鸨母，而这姑娘的父亲因

借鸨母的10两银子，由于天灾，还不起银子，只好卖女儿抵债。今天碰巧遇上朱世杰，才把姑娘救出苦海。

后来，在朱世杰的精心教导下，这姑娘也颇懂些数学知识，成了朱世杰的得力助手，不几年，两人便结成夫妻。

所以，扬州民间至今还流传着这样一句话：

元朝朱汉卿
教书又育人
救人出苦海
婚姻大事成

上面这段佳话是不是事实，已不好考证，但说明了朱世杰在做学问的同时，还有着一颗慈爱的心。

再说朱世杰在数学科学上，全面地继承了秦九韶、李冶、杨辉的数学成就，并给予创造性的发展，写出了《算学启蒙》、《四元玉鉴》等著名作品，把我国古代数学推向更高的境界，形成宋元时期中国数学的最高峰。

《算学启蒙》是朱世杰在元成宗大德三年(1299)刊印的，全书共三卷，20门，总计259个问题和相应的解答。

这部书从乘除运算起，一直讲到当时数学发展的最高成就“天元术”，全面介绍了当时数学所包含的各方面内容。

它的体系完整，内容深入浅出，通俗易懂，是一部很著名的启蒙读物。这部著作后来流传到朝鲜、日本等国，出版过翻刻本和注释本，产生过一定的影响。

而《四元玉鉴》更是一部成就辉煌的数学名著。它受到近代数学史研究者的高度评价，认为是中国古代数学科学著作中最重要的、最有贡献的一部数学名著。

《四元玉鉴》成书于大德七年(1303)，共三卷，24门，288

问，介绍了朱世杰在多元高次方程组的解法——四元术，以及高阶等差级数的计算——垛积术、招差术等方面的研究和成果。

“天元术”是设“天元为某某”，即某某为 x。但当未知数不止一个的时候，除设未知数天元（x）外，还需设地元（y）、人元（z）及物元（u），再列出二元、三元甚至四元的高次联方程组，然后求解。

这在欧洲，解联立一次方程开始于 16 世纪，关于多元高次联立方程的研究还是 18 至 19 世纪的事了。

朱世杰的另一重大贡献是对于“垛积术”的研究。他对于一系列新的垛形的级数求和问题作了研究，从中归纳为“三角垛”的公式，实际上得到了这一类任意高阶等差级数求和问题的系统、普遍的解法。

朱世杰还把三角垛公式引用到“招差术”中，指出招差公式中的系数恰好依次是各三角垛的积，这样就得到了包含有四次差的招差公式。

他还把这个招差公式推广为包含任意高次差的招差公式，这在世界数学史上是第一次，比欧洲牛顿的同样成就要早近 4 个世纪。

正因为如此，朱世杰和他的著作《四元玉鉴》才享有巨大的国际声誉。近代日本、法国、美国、比利时以及亚、欧、美许多国家都有人向本国介绍《四元玉鉴》。

美国已故的著名的科学史家萨顿是这样评说朱世杰的：

“（朱世杰）是中华民族的、他所生活的时代的、同时也是贯穿古今的一位最杰出的数学科学家。”

“《四元玉鉴》是中国数学著作中最重要的，同时也是中

世纪最杰出的数学著作之一。它是世界数学宝库中不可多得的瑰宝。”

从此中可以看出，宋元时期的科学家及其著作，在世界数学史上起到了不可估量的作用。

除了以上成就外，朱世杰还在他的著作中提出了许多值得注意的内容：

1. 在中国数学史上，他第一次正式提出了正负数乘法的正确法则；

2. 他对球体表面积的计算问题作了探讨，这是我国古代数学典籍中唯一的一次讨论。结论虽不正确，但创新精神是可贵的；

3. 在《算学启蒙》中，他记载了完整的“九归除法”口诀，和现在流传的珠算归除口诀几乎完全一致。

总之，朱世杰继承和发展了前人的数学成就，为推进我国古代数学科学的发展做出了不可磨灭的贡献。朱世杰不愧是我国乃至世界数学史上负有盛名的数学家。

由于朱世杰和其他同时代数学家的共同努力，使宋元时期的数学达到了光辉的高度，在很多方面都居于世界前列。

自朱世杰之后，我国这种在数学上高度发展的局面不但没有保持发展下去，反而很多成就在明、清一段时期内失传。这实在是科学史上的一件憾事。

“数的科学”

“科学之父”的推动

且说古希腊对数学似乎有着特别大的兴趣，尤其是在几何学方面。这在一定程度上应当归功于毕达哥拉斯和柏拉图。他们都是数学的崇拜者和鼓吹者。

据说柏拉图在他所创办的学园的大门口就有着“不懂几何学者不得入内”的牌子，可见数学在古希腊的重要性。

在其他古老的国家里，数学基本上是一门实用性的学科，而在古希腊，也像我们在前面所看到的天文学的情况那样，他们是着重于向理论发展的。

古希腊最早的数学家可能要算被西方称作是“科学之父”的泰勒斯了。据说他提出并证明了下列几何学基本命题：

1. 圆为它的任一直径所平分；
2. 半圆的圆周角是直角；
3. 等腰三角形两底角相等；
4. 相似三角形的各对应边成比例；
5. 若两三角形两角和一边对应相等，则两三角形全等。

这些定理是每一个现代中学生都知道的，他们简单得不能再简单了。但是，就是这些简单的理论，构成了今天极其复杂而又高深理论的根基。

试想，今天的球面几何学，射影几何学，非欧几何学等等，有哪一门不是从这最简单的定理发生推演出来的呢?

泰勒斯年轻时去过埃及，在那里，他向埃及人学习了几何学知识。但埃及人的几何学在当时只是为了划分地产而研究的。

在那里，埃及的人们只懂得在一块具体的地面上来规划、计算，以弄清人们的地产界线。因为，每年尼罗河一涨水，所有的地面痕迹都被冲毁了，人们在涨水后不得不重新进行测量计算。

埃及人很早在实践中就懂得"所有直径都平分圆周；三角形有两条边相等，则其所对的角也相等"，但都没有从理论上给予概括，并科学地去证明它。

泰勒斯并不满足于仅仅向埃及人学习这些，他经过思考将这些具体的，只是实际操作的知识给予抽象化、理论化，使之概括成为科学的理论。

上面所概括的几条定理，是埃及人在几百年前在实践中便得知的，但并没有把具体的知识提升到理论高度。泰勒斯在这方面做出了卓越的贡献。

泰勒斯不仅把具体的知识理论化，而且还天才地将理论运用到实际中去。下面讲一个泰勒斯解决金字塔高度的故事。

这是一个夏天，静寂的热气在大地上蒸腾，闪着光，闲散而轻柔的晃动着，俨如在小溪里游动着的鱼。

而远处，那些挡住了视野的山崖不停地闪着青的白的反光。底下是一片被灼热的阳光所临照的田野，裸麦的花粉在田间飘浮着，像一片轻烟。

泰勒斯正在金字塔的阴影下歇息着，他身边坐着几位和

他同龄的贵族子弟。他们边抽着烟边议论着琐事。

一贵族说道："亲爱的泰勒斯先生，请您告诉我，你到埃及的日子里有些什么收获呢？总不会空空而回吧？"

因为泰勒斯也是贵族出身，在和家人分家的时候，泰勒斯一样东西也不要，只带些钱去埃及游学了。所以，认识他的人都把他叫做傻子。而这个贵族正是基于此，想找个法子戏弄他。

泰勒斯从容不迫地答道："亲爱的先生们，我们或许追求不同，也许你喜欢金钱，也许你喜欢女人，而我则不同，只以追求科学知识为光荣。"

众贵族子弟望着他，泰勒斯又说道："我这次到埃及游学，我认为我得到了我一生中最大的收获，我把埃及人的几何知识提到了理论高度，并给予证明。"

那贵族说道："我请问泰勒斯先生，你的那些东西我们都看到过了，那又有什么用呢？它能算出金字塔有多高吗？"

泰勒斯听这么一说，当时没有马上想出办法，便说："怎样测出金字塔的高度，让我回去好好想一想，咱们5天后见！"

其实，不但这些贵族子弟想知道金字塔的高度，全埃及的人都想知道。最着急的应该算尼罗河的祭司们，因为正是这些祭司们掌握着埃及的数学。

到了第5天，泰勒斯如约而至。由于这些贵族子弟回去后，把泰勒斯要算出金字塔高度的消息告诉了全城百姓，所以金字塔旁人山人海，尼罗河祭司站在最前边。

泰勒斯望着人们，清了清嗓子，说道："你们不是想知道金字塔的高度吗？这其实是很简单的事。"

人们听他这么一说，嘈杂的人群立时静了下来，千百双

眼直盯着泰勒斯。

泰勒斯说道："当你自己的影子和你身体一样高时，你就去测量金字塔的影长，这便是金字塔的高度。"

多聪明的主意！

全城的老百姓怔了一会，忽地拥向泰勒斯，把他高高抬起，欢呼着。而想戏弄泰勒斯的贵族为自己的无知深深地低下了头。那时祭司们慌慌忙忙回去拿皮尺了。

讲到这里，这使我们想起我国古代曹冲称象的故事（我们另章介绍），他们进行逻辑推理的根据都是一种"代换法"。值得指出的是，在泰勒斯之前，没有人想到这种合理的推论。

泰勒斯是第一个以思维的理性头脑和科学精神面向自然界的人，他一生以自己的思考寻求问题的答案，如果我们追寻人类第一个进行科学思维的代表人物，那么，泰勒斯是当之无愧的。

关于泰勒斯的传说和轶事流传很多，这些传说虽然未必真实，但对我们了解他的生平和性格，是很有帮助的。

有一次，一个邻舍讥笑泰勒斯说："人家都说你是天才，但依我看，你是个笨蛋。试想，如果你真的聪明的话，为什么不发财呢？"

泰勒斯笑着说："要想发财，那还不易如反掌！"

邻居不屑地说："做出来给我们看看，不要光说大话。"

其实，泰勒斯利用各方面的知识，已经预见橄榄今年必然要获得大丰收。为了回敬这位邻居的诬蔑，他就垄断了这一地区的全部榨油机。

果然不出所料，橄榄获得空前丰收，于是人们争相购买榨油机，但无一台榨油机出售，因为全被泰勒斯事先用低价

买下了。

于是，人们纷纷奔向泰勒斯家，泰勒斯用自定的价格出售，榨油机还是供不应求，就这样，泰勒斯获得巨额财富。

他用现身说法，痛斥了邻居的不敬，用事实证明发财不见得比研究天文学更加困难。他终于走上了探讨大自然奥秘的道路。

还有一个故事，是由普卢塔克记载的，叫梭伦的故事，也颇为幽默。

有一天，梭伦到米利都去探望泰勒斯，见他还是孤身一人，便问道："泰勒斯，你已功成名就，为什么不结婚？"

泰勒斯当时没有回答。几天之后，泰勒斯带着一个陌生人到了梭伦的家中。那陌生人对梭伦说："十天前，我还在雅典呢。"

梭伦的妻子儿女均在雅典，所以梭伦对雅典很关心，便问道："雅典有什么新闻？"

那人说："有一个青年人的葬礼轰动了全城，因为其父是一位尊贵人物。儿子死时父亲不在家，他很久以前就出外游历去了。"

梭伦急切地问："他叫什么名字？"

那人说已记不清，只听说他很聪明、很正直。

当惊慌失措的梭伦就要猜出死者是自己儿子的时候，泰勒斯笑着说："这就是我不娶妻生儿的原因，这点事连你那么坚强的人都承受不了。不过，这个消息完全是虚构的，是我们的双簧，请不必介意。"

梭伦这才如释重负地舒了一口气。

其实泰勒斯是比较温和的，他之所以对梭伦这样做，是

因为他们之间是真挚的老朋友，开个玩笑而已。

泰勒斯言谈幽默并常含哲理。他对于“怎样才能过着正直的生活?”的回答是:“不要做你讨厌别人做的事。”这和中国的“己所不欲，勿施于人”如出一辙。

有人问泰勒斯:“你见过最奇怪的事情是什么?”他回答道:“长寿的暴君。”

又有人问:“你作出一项天文学的发现，想得到什么?”他答道:“当你告诉别人时，不说是你的发现，而说是我的发现，这就是对我的最高奖赏。”

泰勒斯的影响是巨大的，数百年的希腊科学的繁荣，泰勒斯的首创之功，不可磨灭。

泰勒斯的学生

在这一时期，另一位为后世称颂的古希腊学者要算是泰勒斯的学生，提出数学是宇宙万物之本源的毕达哥拉斯。

毕达哥拉斯生于公元前582年，他父亲叫姆内撒克斯，是一位很有钱的希腊人。他想让儿子受到很好的教育，便请了当时著名的两位老师来教儿子。

毕达哥拉斯是一位天才少年，在很短时间里，他的数学和哲学程度就超过了他的老师。当他还不到20岁时，就离开家乡到文化发达的地方去寻求知识了。

毕达哥拉斯是个纯粹的少年，身体修长，面孔充满热情，他怀着理想和好奇来到了求知的第一站——巴比伦。

在巴比伦的几年时间里，他学到了许多知识，但他并不满足，结束了在巴比伦的学习后，他又来到另一文明古国——

印度。

几百年的印度文化深深地吸引着毕达哥拉斯，他一头钻进科学的海洋里，吮吸着科学之蜜。这是他能够在以后成为著名科学家，所必须的前题。

在印度，他还学习了印度的佛教。佛教对他后来的生活产生了相当大的影响，使他的思想追求某种神秘性，带上了某种喜欢不切合实际的梦想的色彩。

结束了印度之行，毕达哥拉斯回到西方，住在埃及，他又被埃及那精深的几何学深深吸引住了，他便向祭司们学习了几何学。

毕达哥拉斯定理，也即勾股弦定理，就是在这里发现的。这里，也有一段美妙而动人的故事。

却说毕达哥拉斯在向祭司学习几何的过程中，与祭司的表妹长久相处，渐渐双方有了感情，而且相爱甚笃。

毕达哥拉斯是个极富天才且人长得又帅的小伙子，而祭司的表妹则是一枝鲜美花朵似的姑娘。她倾羡他的美貌，又仰慕他的才华。于是，双方陷入情网之中。

那天傍晚，温和的太阳颜色只是淡淡的，田野懒洋洋地仿佛快睡着了。各处村子上的小钟在静寂的原野上悠悠地响着，一缕缕烟在阡陌纵横的田间缓缓上升。

毕达哥拉斯带着女友漫步在田野上，一片轻盈的暮霭在远处飘浮。白的雾铺在潮湿的地下，等着黑夜降临。

毕达哥拉斯拉着女友的手慢慢地走着，他极目望去，远处金字塔在暮霭中闪着粉红色的光芒，他蓦地想起白天的问题。

毕达哥拉斯的问题是，在直角三角形中，已知两边的长，

怎样算出第三边的长度。下午，他和女友在屋内已经讨论了半天，也没有讨论出头绪。

女友也是极有知识之人，她的出现无疑给毕达哥拉斯带来活力。毕达哥拉斯边走边想着：如果画上十个直角三角形，再量第三边长度，先把它们之间的关系弄明白，然后再用理论求证，岂不是一条捷径？

毕达哥拉斯想到这，拉着女友转回头，朝住处跑去。女友到他的住处后，才弄明白他的想法，便按照他的吩咐，画出了一个又一个三角形。

当画到一边长为3，另一边长为4时，奇迹出现了，毕达哥拉斯量出斜边竟是5。3、4、5，毕达哥拉斯默念着。

要弄清三边之间的关系，首先弄清楚3、4、5之间的关系，毕达哥拉斯在屋中来回踱步，一边走，一边想。

已是午夜2点了，女友端来热腾腾的夜宵，毕达哥拉斯刚要拿起餐具，忽然，他头脑一亮：$3^2+4^2=5^2$。

是呀，这是多么奇妙的等式，难道是巧合吗？毕达哥拉斯连忙离开饭桌，用心地在纸上画了起来，经过上百次验算，直角三角形的两边的平方和等于斜边平方。

毕达哥拉斯高兴若狂，抱起女友亲吻起来。

下一步的工作，就是如何证明这个定理成立，毕达哥拉斯在女友的协助下，用了一个月的时间，终于使这个理论得到证明。

从此，这个定理被西方命名为毕达哥拉斯定理。

顺便提一下，毕达哥拉斯在离开埃及之时，他和女友已共同生活了10年之久，由于女友不愿意离开埃及，毕达哥拉斯只得独身归国。

毕达哥拉斯在数学上除了证明勾股定理外，还提出了区别奇数、偶数和质数的方法。他和他的学生还发现了无理数，并用数学研究音乐乐律。

在研究中，他指出，弦长的比数愈简单，则其音愈和谐。但是，他把数的概念绝对化、神秘化，并断言：凡物皆数。

他把数的物质的东西分割开来，把数的关系当做事物的原型，构成宇宙的秩序，结果走向唯心主义。

但不容讳言，毕达哥拉斯是那个时代最杰出的代表人物之一。他在数学、天文等方面所做出的贡献，将永远铭刻在后人的心里。他的某些理论，为推动科学的发展，有不可磨灭的贡献。

三个流派

到了公元前5世纪，在古希腊成立了几个哲学派别，它们分别是智者派、毕达哥拉斯派和柏拉图派。

在这一时期，被称为智者派的一些数学家们提出了下列三个著名的几何作图难题，即只用圆规和直尺作出以下图形：

1. 作一正方形使其面积等于一已知圆的面积；
2. 作一立方体使其体积等于一已知立方体的2倍；
3. 三等分一任意角。

这三大难题曾在很长的时期内吸引了许多数学家，后来才被证明这是不可能的，任何人借助任何办法都办不到的。

虽然这三大难题是办不到的，但是数学家们在积极求证的过程中，却产生了许多有价值的副产品。

如智者派中的重要人物希匹阿斯在试图三等分一任意角

时，发明了割圆曲线，如能作出这条曲线，即可三等分一任意锐角，但是割圆曲线也是不能用直尺和圆规作出的。

这时的毕达哥拉斯派的希波克拉底致力于化圆为方的问题时，得出了求以两不等径圆弧为边的月牙形面积的方法。

而智者派的安提丰在研究画圆的问题时，提出可以把圆看成是无穷多边的正多边形。毕达哥拉斯派的布莱生则以圆外接正多边形来思考同一问题。此即穷竭法的开端。

另外一学派柏拉图派的数学家们，他们研究数学不是为了实用目的，而在于寻求一种思维中的完善和美，因此，他们特别注意数学的证明方法。

有记载说，他们研究过数学中的分析法、归谬法这样一些基本的推理方法，由于他们的工作，数学的推理方法更加严密了。

柏拉图派把这些工作推进到什么程度，有哪些具体成果，我们现在不得而知。但是我们确实看到，自柏拉图以后，古希腊的数学更加理论化了。

我们当然不能想象古希腊发达的生产技术没有相当的实用数学知识，但数学作为一门学科，确实与实际生活的距离加大了。古希腊的实验科学、物理学等在相当长的时期内没有得到相应的发展，与数学脱离实际这种状况看来也不无关系。

柏拉图派的科学家欧多克索不仅在天文学上有重要的贡献，他还是古希腊最有成就的数学家之一。

人们发现了无理数后，但又产生了一大困难，就是无理数$\sqrt{2}$的不可公度，由于更多的无理数的发现，促使人们不得不认真地去研究它。

无理数究竟是不是数？原先用先可公度量的那些几何学的证明能否用于这些不可公度量？一个一个可数的数目是不连续的，而量则是连续的，这些都是矛盾。

欧多克索面对这些难题，他走出自己的一条路子。他定义了两个量之比和两个量之比相等的关系，即比例关系，以此来解决量之间的问题。

这样，从毕达哥拉斯开始的几何和数的简单而直接的关系就被分开了，量并不就是可数的数目，上述困难便迎刃而解。

从此，古希腊数学更加偏向于几何学。因为在他们看来，似乎几何学是能处理一切问题的，包括无理数这样的问题在内。

对几何学的偏爱却抑制了古希腊代数学的发展，后来在他们那里，有关代数学的问题实际上都用几何学的方法来处理，这不能就被认为是很好的方式。

欧多克索的另一项重要贡献，是他继续了智者派安提丰等人的工作，完成了计算曲边形面积和曲面体体积的方法。

这项工作的重要意义不只在于计算那些难以计算的量，更在于推进了穷竭法的研究。虽然那时还没有清晰的极限的思想，穷竭法已经预示着微积分学的思想正在萌芽。

欧多克索的学生美尼克谟的最重要成就是发现了圆锥曲线。他在这方面的工作可能也是试图解决智者派提出的三大作图难题，而产生的副产品。

美尼克谟选取了顶角分别为直角、锐角和钝角三种圆锥，分别以一垂直于锥面一条母线的平面与之相割，这样就得到了抛物线、椭圆和双曲线。

圆锥曲线的发现，对于几何学以及天文学、物理学等类科学的发展都十分重要。不过，他的工作还只是一个开端。

古希腊的数学高峰

在古希腊后期，学术中心转移到埃及的亚历山大城。这时，古希腊的数学达到了高峰，古希腊数学的最后成果均是在这里总结和完成的。

生活在亚历山大城的欧几里得（约前 330～约前 275）是古希腊最享有盛名的数学家。

古希腊著名科学哲学家亚里斯多德认为，演绎推理的价值要高于归纳推理。他这一思想形成的原因是什么呢？

如果让我们看一看古希腊几何学的发展，就会容易理解亚里斯多德的这一看法了。事实上可以这样说，整个希腊时代理论上最成功的产物就是几何学这门演绎科学。

我们说它成功一是指这一时期几何学理论的完备、严密与系统；二是指直到今天，我们中学里的几何教科书还都是以两千多年前的希腊几何学为蓝本的。

而希腊几何学成功的代表者便是我们将要介绍的欧几里得。

欧几里得生于雅典，是柏拉图的学生。他的科学活动主要是在亚历山大进行的，在这里，他建立了以他为首的数学学派。

欧几里得，以他的主要著作《几何原本》而著称于世，他的工作重大意义在于把前人的数学成果加以系统的整理和总结，以严密的演绎逻辑，把建立在一些公理之上的初等几何

学知识构成为一个严整的体系。

欧几里得建立起来的几何学体系之严谨和完整，就连20世纪最杰出的大科学家爱因斯坦也不能对他不另眼相看。

爱因斯坦说："一个人当他最初接触欧几里得几何学时，如果不曾为它的明晰性和可靠性所感动，那么他是不会成为一个科学家的。"

《几何原本》中的数学内容也许没有多少为他所创，但是关于公理的选择，定理的排列以及一些严密的证明无疑是他的功劳，在这方面，他的工作出色无比。

欧几里得的《几何原本》共有13篇，首先给出的是定义和公理。比如他首先定义了点、线、面的概念。

他整理的5条公理其中包括：

1. 从一点到另一任意点作直线是可能的；

2. 所有的直角都相等；

3. $a=b$，$b=c$，则 $a=c$；

4. 若 $a=b$ 则 $a+c=b+c$ 等等。

这里面还有一条公理是欧几里得自己提出的，即：整体大于部分。

虽然这条公理不像别的公理那么一望便知，不那么容易为人接受，但这是欧氏几何中必须的，必不可少的。他能提出来，这恰恰显示了他的天才。

《几何原本》第1～4篇主要讲多边形和圆的基本性质，像全等多边形的定理，平行线定理，勾股弦定理等。

第2篇讲几何代数，用几何线段来代替数，这就解决了希腊人不承认无理数的矛盾，因为有些无理数可以用作图的方法，来把它们表示出来。

第3篇讨论圆的性质，如弦、切线、割线，圆心角等。

第4篇讨论圆的内接和外接图形。

第5篇是比例论。这一篇对以后数学发展史有重大关系。

第6篇讲的是相似形。其中有一个命题是：直角三角形斜边上的矩形，其面积等于两直角边上的两个与这相似的矩形面积之和。读者不妨一试。

第7、8、9篇是数论，即讲述整数和整数之比的性质。

第10篇是对无理数进行分类。

第11～13篇讲的是立体几何。

全部13篇共包含有467个命题。《几何原本》的出现说明人类在几何学方面已经达到了科学状态，在经验和直觉的基础上建立了科学的、逻辑的理论。

欧几里得，这位亚历山大大学的数学教授，已经把大地和苍天转化为一幅由错综复杂的图形所构成的庞大图案。

他又运用他的惊人才智，指挥灵巧的手指将这个图案拆开，分成为简单的组成部分：点、线、角、平面、立体——把一幅无边无垠的图，译成初等数学的有限语言。

尽管欧几里得简化了他的几何学，但他坚持对几何学的原则进行透彻的研究，以便他的学生们能充分理解它。

据说，亚历山大国王多禄米曾师从欧几里得学习几何，有一次对于欧几里得一遍又一遍地解释他的原理表示不耐烦。

国王问道："有没有比你的方法简捷一些的学习几何学的途径？"

欧几里得答道："陛下，乡下有两种道路，一条是供老百姓走的难走的小路，一条是供皇家走的坦途。但是在几何学里，大家只能走同一条路。走向学问，是没有什么皇家大道

的，请陛下明白。"

欧几里得的这番话后来推广为"求知无坦途"，成为传诵千古的箴言。

关于欧几里得的一生的细节，由于资料缺乏，我们知道得很少。有一个故事说的是欧几里得和妻子吵架，妻子很为恼火。

妻子说："收起你的乱七八糟的几何图形，它难道为你带来了面包和牛肉。"

欧几里得天生是个憨脾气，只是笑了笑，说道："妇人之见，你知道吗？我现在所写的，到后世将价值连城！"

妻子嘲笑道："难道让我们来世再结合在一起吗？你这书呆子。"

欧几里得刚要分辩，只见妻子拿起他写的《几何原本》的一部分投入火炉中。欧几里得连忙来抢，可是已经来不及了。

据说妻子烧掉的是《几何原本》中最后最精彩的一章。但这个遗憾是无法弥补的，她烧的不仅仅是一些有用的书，她烧的是欧几里得血汗和智慧的结晶。

如果上面这个故事是真的，那么他妻子的那场震怒可能并不是欧几里得引起来的。因为古代的作家们告诉我们，他是一个"温和慈祥的老头。"

由于欧几里得知识的渊博，他的学生们简直把他当作偶像来崇拜。欧几里得在教授学生时，像一个真正的父亲那样引导他们，关心他们。

然而有时，他也用辛辣的讽刺来鞭挞学生中比较傲慢的，使他们驯服。有一个学生在学习了第一定理之后，便问道："学习几何，究竟会有什么好处？"

于是，欧几里得转身吩咐佣人说："格鲁米阿，拿三个钱币给这位先生，因为他想在学习中获得实利。"

欧几里得主张学习必须循序渐进、刻苦钻研，不赞成投机取巧的作风，更反对狭隘的实用观念。后来者帕波斯就特别赞赏他这谦逊的品德。

像古希腊的大多数学者一样，欧几里德对于他的科学研究的"实际"价值是不大在乎的。他喜爱为研究而研究。

他羞怯谦恭，与世无争，平静地生活在自己的家里。在那个到处充满勾心斗角的世界里，对于人们吵吵闹闹所作出的俗不可耐的表演，则听之任之。

他说："这些浮光掠影的东西终究会过去，但是，星罗棋布的天体图案，却是永恒地岿然不动。"

欧几里得除了写作重要几何学巨著《几何原本》外，还著有《数据》、《图形分割》、《论数学的伪结论》、《光学》、《反射光学之书》等著作。

说不尽的阿基米德

在古希腊后期，又出现了一位最伟大的科学家，他就是阿基米德。

他正确地得出了球体、圆柱体的体积和表面积的计算公式，提出了抛物线所围成的面积和弓形面积的计算方法。

最著名的还是求阿基米德螺线（$\rho=\alpha\times\theta$）所围面积的求法，这种螺线就以阿基米德的名字命名。

阿基米德还求出圆周率的值在 $3\frac{10}{71}<\pi<3\frac{1}{7}$，他还用圆

锥曲线的方法解出了一元三次方程，并得到正确答案。

阿基米德还是微积分的奠基人。他在计算球体、圆柱体和更复杂的立体的体积时，运用逐步近似而求极限的方法，从而奠定了现代微积分计算的基础。

最有趣的是阿基米德关于体积的发现：

有一次，阿基米德的邻居的儿子詹利到阿基米德家的小院子玩耍。詹利很调皮，也是个很讨人喜欢的孩子。

詹利仰起通红的小脸说："阿基米德叔叔，我可以用你圆圆的柱子作教堂的立柱吗？"

"可以。"阿基米德说。

小詹利把这个圆柱立好后，按照教堂门前柱子的模型，准备在柱子上加上一个圆球。他找到一个圆柱，由于它的直径和圆柱体的直径和高正好相等，所以球"扑通"一下掉人圆柱体内，倒不出来了。

于是，詹利大声喊叫阿基米德，当阿基米德看到这一情况后，思索着：圆柱体的高度和直径相等，恰好嵌人的球体不就是圆柱体的内接球体吗？

但是怎样才能确定圆球和圆柱体之间的关系呢？这时小詹利端来了一盆水说："对不起，阿基米德叔叔，让我用水来给圆球冲洗一下，它会更干净的。"

阿基米德眼睛一亮，抱着小詹利，慈爱地说："谢谢你，小詹利，你帮助解决了一个大难题。"

阿基米德把水倒进圆柱体，又把内接球放进去；再把球取出来，量量剩余的水有多少；然后再把圆柱体的水加满，再量量圆柱体到底能装多少水。

这样反复倒来倒去的测试，他发现了一个惊人的奇迹：内

接球的体积，恰好等于外包的圆柱体的容量的三分之二。

他欣喜若狂，记住了这一不平凡的发现：圆柱体和它内接球体的比例，或两者之间的关系，是3∶2。

他为这个不平凡的发现而自豪，他嘱咐后人，将一个有内接球体的圆柱体图案，刻在他的墓碑上作为墓志铭。

阿基米德的惊人才智，引起了人们的关注和敬佩。朋友们称他为“阿尔法”，即一级数学家（α——阿尔法，是希腊字母中第一个字母）。

阿基米德作为“阿尔法”，当之无愧。所以20世纪数学史学家E.T.贝尔说：“任何一张列出有史以来三个最伟大的数学家的名单中，必定包括阿基米德。

“另外两个数学家通常是牛顿和高斯。不过以他们的丰功伟绩和所处的时代背景来对比，拿他们的影响当代和后世的深邃久远来比较，还应首推阿基米德。”

我们说，阿基米德的数学成就在于他既继承和发扬了古希腊研究抽象数学的科学方法，又使数学的研究和实际应用联系起来，这在科学发展史上的意义是重大的，对后世有极为深远的影响。

阿波罗尼

亚历山大前期著名的三大数学家除欧几里得、阿基米德外，还有一位重要人物，他就是欧几里得的学生阿波罗尼。

阿波罗尼（约前262～约前190）生于佩尔格，年青时到亚历山大跟随欧几里得的后继者学习。他的主要成就是建立了完美的圆锥曲线论。

他在总结前人的成就的基础上，再加上自己的研究成果，撰写了《圆锥曲线论》8大卷，将圆锥曲线的性质网罗殆尽，几乎使后人没有插足的余地。

《圆锥曲线论》是圆锥曲线的经典之作，写作风格和欧几里得、阿基米德是一脉相承的，先设立若干定义，再由此依次证明各个命题，推理是十分严格的。

《圆锥曲线论》的出现，引起了人们的重视，被公认为是这方面的权威之作，被认为是古希腊最杰出的数学著作之一。

阿波罗尼是第一个从同一圆锥的截面上来研究圆锥曲线的人，他以一个平面按不同的角度与圆锥相交，分别得出抛物线、椭圆和双曲线。

同时，他也弄清楚了双曲线有两个分支，并给出了圆锥曲线的定义。

在这一书中，他说明了求一圆锥曲线的直径，有心圆锥曲线的中心、抛物线和有心圆锥曲线的轴的方法和作圆锥曲线的切线的方法，讨论了双曲线的渐近线和共轭双曲线，研究了有心圆锥曲线焦点的性质等等。

阿波罗尼这时尚无坐标的概念，但在他的讨论中已隐含了坐标的意思。

《圆锥曲线论》是一部经典巨著，它可以说是代表了希腊几何的最高水平，自此以后，希腊几何便没有实质性的进步。

直到17世纪的笛卡尔和帕斯卡，圆锥曲线的理论才有所突破。以后便向着两个方向发展，一是笛卡尔的解析几何，二是射影几何，两者几乎是同时出现。

这两大领域的思想和基本原理，都可以在阿波罗尼的工作中找到萌芽。当然这是后话，暂且不提。

和阿基米德相比较，阿波罗尼注意图形的几何性质，而阿基米德侧重数值计算，这是他成为微积分先驱的重要原因。

《圆锥曲线论》的篇幅很大，第1～7卷就有387个独立命题，完全用文字来表达，没有使用符号和公式。命题的叙述相当冗长，言辞有时是含混的，这在希腊的著作中，是较难读的一种。

除了《圆锥曲线论》外，阿波罗尼还有其他一些有价值的著作，它们是《论接触》、《平面轨迹》、《12面体与20面体对比》、《倾斜》等。

古罗马的三个数学家

到了古罗马时期，其政治、军事日益强大，它雄踞西方，称霸一时。它在经济上曾经很是繁荣，技术上也有不少的成绩，但它在科学上、在科学思想上几乎无所建树。

古罗马以基督教为国教，实行思想统治，禁锢了人们的思想，古希腊时期那种活跃的学术气氛不复存在，新鲜的思想也难露头角。数学科学更是举步不前。

在这一时期，比较著名的数学科学家有丢番图、帕波斯和希帕蒂娅。

说起数学家丢番图的生平，还有一则别开生面的记载，在一本《希腊诗文选》中收录了丢番图的奇特的墓志铭，现转抄于下：

坟中安葬着丢番图，

多么令人惊讶，

它忠实地记录了所经历的道路。

上帝给予的童年占六分之一，

又过十二分之一，两颊长胡，

再分七分之一，点燃起结婚的蜡烛。

五年之后天赐贵子，

可怜迟到的宁馨儿，

享年仅及其父的一半，便进入冰冷的坟墓。

悲伤只有用数论的研究去弥补，

又过四年，他也走完了人生的旅途。

细心的读者已经发现，这独特的墓志铭就是丢番图一生的履历表，而且它本身就是一道耐人寻味的年龄计算题。

让我们来解开丢番图的年龄之谜：

设丢番图的年龄为 X，则

$$X=\frac{1}{6}X+\frac{1}{12}X+\frac{1}{7}X+5+\frac{1}{2}X+4$$

$\Rightarrow X=84$，由此得知：他享年 84 岁。

丢番图大致活动于公元 250 年前后，其生平不详。他的著作《算术》和关于所谓多角数（形数）一书，这是世界上最早的系统的数学论文。

《算术》共 13 卷，现存 6 卷。这本书可以归入代数学的范围。代数学区别于其他学科的最大特点是引入了未知数，并对未知数加以运算。

它根据问题的条件列入方程，然后解方程求出未知数，如我们前边关于丢番图年龄的计算。

算术也有未知数，这未知数就是答案，一切运算只允许对已知数来施行。在代数中既然要对未知数加以运算，就需要用某种符号来表示它。

丢番图将这方面的成果冠以算术之名是很自然的，因此，他被后人称作是“代数学之父”的美誉。

希腊数学自毕达哥拉斯学派以后，兴趣中心都在几何，他们认为只有经过几何论证的命题才是可靠的。为了逻辑的严密性，代数也披上了几何的外衣。

所以一切代数问题，甚至简单的一次方程的求解，也都纳入僵硬的几何模式之中。直到丢番图的出现，才把代数解放出来，摆脱了几何的羁绊。

例如，$(a+b)^2=a^2+2ab+b^2$ 的关系在欧几里得《几何原本》中是一条重要的几何定理，而在丢番图的《算术》中，只是简单代数运算法则的必然后果。

丢番图认为，代数方法比几何的演绎陈述更适宜于解决问题。解题过程中显示出高度的巧思和独创性，在希腊数学中独树一帜。

如果丢番图的著作不是用希腊文写的，人们就不会想到这是希腊人的成果，因为看不出有古典希腊数学的风格，从思想方法到整个科目结构都是全新的。

如果没有丢番图的工作，也许人们以为希腊人完全不懂代数，有人甚至猜想他是希腊化了的巴比伦人。

丢番图在《算术》中，除了代数原理的叙述外，还列举了属于各次不定方程式的许多问题，并指出了求这些方程解的方法，识别了实根、有理数可能是“根”和正根。

为了表示求知数及其幂、倒数、等式和减法，他使用了字母的减写，用并列书写表示两个量的加法，量的系数则在量的符号之后用阿拉伯数字表示。

在两个数的和与差的乘法运算中采用了符号法则。他还

引入了负数的概念，并认识到负数的平方等于正数等问题。

丢番图在数论和代数领域作出了杰出的贡献，开辟了广阔的研究道路。这是人类思想上一次不寻常的飞跃，不过这种飞跃在早期希腊数学中已出现萌芽。

丢番图的著作成为后来许多数学家，如费尔马、欧勒、高斯等进行数论研究的出发点。数论中两大部分均是以丢番图命名的，即丢番图方程理论和丢番图近似理论。

丢番图的《算术》虽然还有许多不足之处，但瑕不掩瑜，它仍不失为一部承前启后的划时代著作。

再说古罗马时期的另一位科学家帕波斯，他最有价值的著作是《数学汇编》。

公元 4 世纪，希腊数学已是强弩之末，“黄金时代”的几何巨匠已离去五六百年了，到公元 146 年，罗马人占领亚历山大后，科学便凋谢了。

公元后，除了托勒密等科学家有所建树外，理论几何的活力已经用完。在此情况下，总结数百年来前人披荆斩棘所取得的成果，以免年久失传，已是十分重要和必要的。

帕波斯正是在这种情况下，着手搜集整理前人的成果，把它们编成了重要的著作:《数学汇编》。

《数学汇编》在历史上占有特殊地位，这不仅仅是它本身有许多发明创造，更重要的是记述了大量前人的工作，保存了一大批现在在别处无法看到的著作。它和普罗克洛斯的《概要》是研究希腊数学科学史的两大原始资料，其功不可没。

帕波斯还写过关于地理、音乐、流体静力学等方面的书，注释过托勒密、欧几里得的著作。他是博学多才的。

而他的主要的贡献，正是我们介绍的，是收集、总结、补

充和评述几乎是整个希腊时期的学术工作，使它流传下来并发扬光大。这些功劳是不可磨灭的。

下面再谈一位科学家希帕蒂娅。我们在这里介绍她，完全是因为希帕蒂娅是有史记载的第一位女科学家、哲学家。

希帕蒂娅早年跟随父亲学习，她在数学上的成就主要是帮助父亲评注托勒密的数学名著《大汇编》，还协助其父编辑了欧几里得的《几何原本》。

据古代一本辞典记载，希帕蒂娅还评注丢番图的《算术》和阿波罗尼的《圆锥曲线》等名著，可惜这些评注本都已失传。

希帕蒂娅也在亚历山大从事科学和哲学活动，讲授数学和新柏拉图主义。她的哲学兴趣比较倾向于研究学术与科学问题，而较少追求神秘性和排他性。

约在公元 400 年左右，希帕蒂娅成为亚历山大的新柏拉图主义学派的领袖。由于她的学术声望，甚至有的基督徒也拜她为师。

但是，早期的基督徒在很大程度上把科学视为异端邪说，把传播希腊传统文化视为异教徒加以迫害。公元 415 年，希帕蒂娅被信奉基督教的一群暴民私刑处死。

她的悲壮身世，成为一些文艺作品的主题，著名作家金斯利把她写进小说《希帕蒂娅》中。小说中的希帕蒂娅，聪明、美丽、展雄辩之才又虚怀若谷。

古印度数学成就

古印度在数学方面有相当大的成就，在世界数学史上有

重要地位。自哈拉巴文化时期起，古印度人用的就是十进位制，但是早期还没有位值法。

大约到了公元7世纪以后，古印度才有了位值法记数，不过开始时还没有“0”的符号，只用空一格来表示。公元9世纪后半叶有了零的符号，写作“.”。

这时，古印度的十进制位值法记数就完备了。后来这种记数法为中亚地区许多民族采用，又经过阿拉伯人传到了欧洲，逐渐演变为现今世界上通用的“阿拉伯记数法”。

所以说，阿拉伯数字并不是阿拉伯人创造的，他们只是起了传播作用。而真正对阿拉伯数字有贡献的，正是古印度人。

《准绳经》是现存古印度最早的数学著作，这是一部讲述祭坛修筑的书，大约成于公元前5至前4世纪，其中包含有一些几何学方面的知识。

这部书表明，他们那时已经知道了勾股定理，并使用圆周率π为3.09，古印度人在天文计算的时候已经运用了三角形，

公元499年成书的《圣使集》中有关数学的内容共有66条，包括了算术运算、乘方、开方以及一些代数学、几何学和三角学的规则。

圣使还研究了两个无理数相加的问题，得到正确的公式，在三角学方面他又引进了正矢函数，他算出的π为3.1416。

公元7～13世纪是古印度数学成就最辉煌的时期，其间的著名人物有梵藏（约589～?）、大雄（9世纪）、室利驮罗（999～?）和作明（1114～?）。

梵藏约于628年写成了《梵明满悉檀多》，对许多数学问

题进行了深入的探讨，梵藏是古印度最早引进负数概念的人，他还提出负数的运算方法。

梵藏对零作为一个数已有所认识，但他却错误地认为零除零还是等于零的结论。他提出了解一般二次方程的规则，得出二次方程 $x^2+px-q=0$ 的根为 $x=\frac{\sqrt{p^2+4q}-p}{2}$。

梵藏还给出了 $ax+by=0$ 的整数解和处理不定方程 $ax^2+1=y^2$ 的方法。他最重要的成就是得出了求等差数列末项以及数列之和的正确公式。

在几何学方面，梵藏有以四边形之边长求四边形面积的正确公式，即 $S=\sqrt{(s-a)(s-b)(s-c)(s-d)}$。其中 S 为四边形的面积，a、b、c、d 为各边之长。

而大雄继续了他前人的工作，他的主要著作是《计算精华》。他认识到零乘以任何一个数都等于零，不过他又错误地认为以零除一个数仍然等于这个数。

大雄对分数的研究也很有意义，他认识到以一个分数除另外一个分数，等于把这个分数的分子分母颠倒相乘。

现存的室利驮罗的数学著作有《算法概要》一书，据说他还有一部专论二次方程的著作。他的主要工作是研究二次方程的解法。

在这一时期，数学上成就最大的要数作明。他的《历数全书头珠》中的《嬉有章》和《因数算法章》反映了古印度数学的最高成就，是那个时期的代表作。

作明对零进行了进一步的研究，正确地指出以零除一个数为无限大。他继续研究二次方程求解的问题，知道一个数的平方根有两个数，一正一负。

他还明确地指出负数的平方根是没有意义的。作明在不定方程的研究中取得了十分显著的成绩，他用巧妙的方法解决了许多不定方程的求整数解的问题。

如下列方程：

$6x^2+2x=y$，　　　　$5x^4-100x^2=y^2$，

$\begin{cases}2(x^2-y^2)+3=s^2\\3(x^2-y^2)+3=t^2\end{cases}$，　　$\begin{cases}x^3+y^3=s^2\\x^2+y^2=t^2\end{cases}$

等等。

在几何学方面，他给出圆周率的两个数值，即 $\pi=\frac{3927}{1250}=3.1416$ 和 $\pi=\frac{22}{7}=3.1429$，并且指出前一数值较为准确，后一数值较为粗疏。自作明之后，古印度数学科学的发展便趋缓慢，没有更多引人注目的东西了。

巴比伦的数学

在公元前 3000 年左右，巴比伦开始有了像点样的数字了。现在考古发现的巴比伦泥板文书对研究数学史，提供了有力的证明。这些泥板书是在胶泥软时刻上字后，晒干保存下来的。

这些泥板书大致是于两个时期制成的，有些是公元前 2000 年左右，大部分是公元前 600 年到公元 300 年的。

较早的泥板是用断面呈三角形的笔斜刻的，刻痕显楔形，因此这种文字叫楔形文字。在楔形文字中，已经出现了 1 到 60 的整数写法和记号。

巴比伦人也会表示分数，但一组记号所表示的分数也可

以作多种理解，这是一种混淆不清的表示法。

巴比伦人还有表示平方、平方根、立方和立方根的数表。当方根是整数时，给出的是准确值。对于非整数的方根，相应的 60 进制数值只是近似的。

这时他们使用的圆周率 $\pi=3.125$。在一块泥板上，我们竟然看到他们解了这样一个指数方程：$(1+0.2)^x=2$，$x=3.8$。

在巴比伦时期，求给定宽和高的一扇门对角线问题时出现了平方根，他们给出的答案没有说明是怎样求出来的。

但是，他们却很好地用了求对角线长的近似公式：

$$d\approx h+\frac{w^2}{2h}$$

其中 d 为对角线长，w 为宽，h 为高。

早期巴比伦有一个代数基本问题，是求出一个数，使它与它的倒数之和等于已给定的数。这个问题的解答是要解一个二次方程。这说明巴比伦人已经知道二次方程求根方法。

巴比伦人还可以解出含有 5 个未知量的五元一次方程来。他们用一种特殊的方法结合各个方程，最后算出所有未知量。

数学在巴比伦人的生活中的很多地方都起到了作用。巴比伦位于古代贸易通道上，他们商业活动范围很广。他们用算术和简单代数知识来表示长度和重量，来交换各种商品和兑换钱币。

现在发现的牵涉到数学的大多数楔形文字著作是关于经济问题的。显然，经济对数学的发展是十分显著的。

其次，在工程建设上，需要用到计算，比如挖运河，修

堤坝，以及其他水利工程都要用到计算。所以说，巴比伦的数学和人们实际应用是分不开的。

巴比伦的占星术很兴盛，他们认为数学本身就具有一种神秘性，因此可以用数学预卜未来。

在《圣经》中可以看到巴比伦人预卜未来的做法。希伯来人的“科学”测字术就是根据巴比伦人的预卜术而来的。有个预言说：狮子宣告巴比伦城的沦落，就是根据巴比伦预卜学原则而得出的结论。

古埃及的数学

再说在古埃及，文明的发展是在没有外来势力的影响下独自进行的。埃及人靠着尼罗河带来的肥沃的土壤，创造着自己生生不息的文明和科学。

古埃及人造出了几套自己的文字，其中有一套是象形文字，每个文字记号是某件东西的图形，直到公元纪元前后，埃及的象形文字还用在纪念碑文和器皿上。

那时埃及人的书写方式是用墨水写在草片上，草片很容易干裂成粉末，所以除了铭刻在石头上的象形文字外，古埃及的文件很少保存下来。

古埃及人在数学科学上的工作，我们现在知道得不太多，这可能与草书不耐保存，有很大的关系。

埃及的代数中实际上没有成套的记号，加法和减法用一个人走近和离去的腿形来表示。表示平方根的记号是两个┌的直角。

埃及的几何和算术也是合在一起的。埃及人也和巴比伦

人一样，把几何看成实用工具。他们把算术和代数用来解有关面积、体积和其他几何性质的问题。

由于尼罗河涨水而产生了古埃及的几何学，使埃及人研究出计算矩形、三角形和梯形面积的死方法。

埃及人对于圆面积的计算有其独到之处。如 $S=(8d/9)^2$,其中 d 为直径。这就等于 π 取 3.1605。

埃及人也有算立方体、箱体、柱体和其他图形体积的法则。有些法则是对的，有些也只能算是近似的。

这里最了不起的法则要算用来计算棱台体积的公式。棱台底是正方形，这个公式用现代记号是：

$V=h/3\ (a^2+ab+b^2)$，h 是高，a、b 是上下底的边长。这个公式之所以了不起，是因为正确，而且形式是对称的。

埃及数学的另一个主要用途是天文测量和计算，这从相当早的时期就是这样了。

尼罗河是埃及人生命的源泉，他们靠耕种河水泛滥后淤土覆盖的田地谋生，但他们也得准备好应付洪水的危害，因此就得预报洪水到来的日期。这就需要计算。

埃及人还把他们的天文知识和几何知识结合起来用于建造他们的神庙，使一年里某几天的阳光能以特定方式照射到庙宇里。

金字塔是代表埃及人对几何的另一种用法。金字塔是帝王的陵墓。埃及人竭力使金字塔的底有正确的形状，那么底和高的尺寸就有重大意义，这又需要精密的计算。

所以说，倘若数学是应人类需要而产生和发展的，那么在古埃及，这一点是最明显不过的了。

古代阿拉伯的数学家

古代阿拉伯的数学是在引进印度和希腊数学之后起步的，在不长的时期内，他们取得了可观的成绩。

阿拉伯头一位著名的数学家是花拉子密，他在数学上的成就比起天文学上的成就还要大一些。他的算术和代数学的著作很早就流传欧洲，对欧洲的数学有颇大的影响。

欧洲人主要就是从他那里学会了使用“阿拉伯记数法”。我们前面已经讲到，欧洲人自古希腊时候起即擅长几何学，他们也习惯于用几何学方法来解决代数学的问题，因此他们的数学有很大的局限性。

花拉子密的代数学著作《还原与对消》记述了 800 多个代数学问题，包括了一次方程和二次方程的解法。

这部著作在 12 世纪期间即被译成拉丁文，直至 16 世纪以前仍是欧洲各大学的主要数学教科书，在欧洲产生了很大影响。

拉丁语中 algebra（代数学）一词就是从这部著作中的名称演化而来的。欧洲人对代数的研究从接受阿拉伯人的代数学才正式开始的。这与花拉子密的功劳不无关系。

花拉子密的天文表中包括有三角学的内容，他不仅运用了正弦函数，还引进了正切函数。不过也有人怀疑正切函数是后人修订天文表时加进去的。

另一个阿拉伯数学家白塔尼在天文学的研究中也涉及到三角学的问题。他在他的著作中又引入了余切函数，并且造出了从 1°到 90°之间相隔 1°的余切表。

曾主持马腊格天文台的奈绥尔丁也是一位很有成就的数

学家。原先的三角学只不过是天文计算中的一种工具，奈绥尔丁则致力于使它成为一门独立的学科。

他还提出了解球面直角三角形的6个基本公式，并且指出解一般三角形的方法。欧洲人到15世纪中期才知道奈绥尔丁的工作，在此之前，欧洲人还从未把三角学看成是数学上的一个分支。

在这一时期，还有一位重要科学家，他叫卡西（？～1436?）。他在圆周率的研究上取得了显著的成绩。

他是用穷竭法求圆周率的，他计算了圆内接和外接3×2^{28}边正多边形的周长，求得圆周率$\pi=3.141,592,653,589,793,25$，即准确至小数后第17位。

他打破了我国祖冲之保持了近千年的世界纪录，1000年后才又为欧洲人所超过。

物理科学从天而降

最早的物理学解释

夏天的一个傍晚，大片浓密的黑云，像铅色的幕布一样，笼罩着天空，隆隆的雷声此起彼伏，闷热的空气受到即将到来的大雷雨愈来愈强烈的震动。

幽暗降临着大地，浓云密雨劈头盖脸地砸下来，狂风暴雨摇撼着人们的灵魂。那倾斜的雨线，扯天扯地的垂落，向大地射出无数的箭头。

几分钟，天地已分不开，空中的河往下落，地上的河横流，成了一个灰暗昏黄，有时又白亮亮的一个水世界。

慢慢地，雨点由稠密变得稀疏，往东看，在一瞬间，一个弧形的半明的彩虹架在暗云中间，雨脚在那方一道道地下垂着，像是彩虹边倒挂的匹练。

那彩虹颜色鲜艳，紫色特别显著，只是长虹一端残缺不全。站在教堂门前的牧士和信徒们，望着雨过复晴的晚空，喃喃祈祷着，手在心口上不住地画着“十”字。

你知道这是怎么回事吗？

原来这些信徒们看到彩虹出现，认为是上天给他们带来好运，但又看到彩虹残缺不全，以为是上天有意要惩罚有罪的人们。于是他们便祷告着。

其实，这是最常见的一种物理现象。古希腊著名学者阿那克西曼德说：

“风是空气的一种流动，因为空气的最轻和最湿部分为太阳所发动或膨胀起来。当太阳的光线投射在极浓厚的云上时，便产生了五光十色的七彩虹。”

这说明阿那克西曼德已经知道彩虹产生的原因，它只是一种普通的现象，而不是上天创造用来奖赏或惩罚人类的。

就整个物理世界来说，古希腊人有过许多精彩的议论，他们对具体的物理现象也作过不少认真的研究，取得了一些成果。

米利都派的学者们已经注意到了一些物理现象，发表过一些看法。如泰勒斯说到磁石吸铁，他从他的哲学出发，认为那是因为这块磁石有灵魂。但是琥珀摩擦能够产生静电的这一功劳应该归功于他。

毕达哥拉斯派是着眼于从数的角度来研究物理科学现象。他们对于琴弦的长度与音律的关系的研究，取得了很好的成绩。

他们考查了同张力下不同长度的琴弦的音调，发现两弦长度之比为2∶1时，两弦能产生谐音，亦即相差8度，若长度之比为3∶2时，两音相差5度，等等。

总之是要使音调和谐，弦长必须是简单整数比。这个发现似乎更支持了他们的哲学的合理性，使他们对宇宙间数的和谐，更加深信不疑。

自然科学家恩培多克勒（前493～前433?）似乎很善于观察也富于想象力，他是不认为自然界会有虚空存在的。

他有次在做试验中发现，上端密闭的管子插入水银中，水

银不能进入管子的情形，他说这是因为管子中的空气的重力，堵住了想进入的水银。

他说："听觉是外面的声音造成的，当语言所推动的空气在耳朵内鸣响时，便产生了听觉。""空气振动时，便打击坚硬的部分，产生出一个声音来。"

他还认为，光是发光体的一种极为精细的流出物，它通过细微的孔道进入我们的眼睛，我们便能看见，光的传播是需要时间的，在一定的时间内才能到达我们的眼睛。

对于磁性，他也用类似的想法来解释。他说，铁块被磁石吸住，是由于铁块中的某种流出物大量流向磁石中的细微的孔道造成两者相吸的。

而古希腊的"第一个百科全书式的学者"德谟克利特对物理现象的解释则带有更多的猜测性。

如关于光，他说那是"从一切物体上都经常发射出一种波流"，"在眼睛和对象之间的空气由于眼睛和对象的作用而被压紧了。就在眼睛上面印下了印子"，这就是视觉。

他还说："颜色并不是本身存在的，物体的颜色是由于（原子）方向的变化。"

关于磁现象，他认为"磁石和铁是相类似的原子构成的，但磁石的原子则更精细。磁石比铁较松并且有更多的空隙。"

因为运动是永远趋向相类似的东西的，铁的原子向外扩散而流向磁石，铁也就被拖向磁石了。

恩培多克勒和德谟克利特对磁现象的解释虽仍远离科学，不过比起泰勒斯的解释，已是前进一大步了。

下面，我们来介绍那个时期，最有影响的人物亚里斯多德是怎样解释物理科学的。

亚里斯多德是古希腊第一个最认真的研究物理现象的人。他的《物理学》也是世界上最早的物理学专著，尽管那时物理学的含义与现代的说法不尽相同。

亚里斯多德着力研究的是力学方面的问题。我们已经知道他认为月亮以下的世界的物体，都有重者向下轻者向上的自然运动，要改变它们的自然状态，就得有外力。

但外力一消失，物体就立即恢复它们的自然状态，即或者静止不动于其自然位置，或者垂直上升，下落以恢复其自然位置。

亚里斯多德反对虚空观念，认为物体在空间的运动，也就是在某种介质中运动。物体的运动与作用于其上的力成正比，而与它所受到的阻力成反比。

他把外力的作用与物体的“非自然”运动这样联系在一起，那么他又如何解释，抛物体在离开抛物者以后仍能运动一段距离呢？

他说，物体刚离开抛物者那个时刻，由于它正向前冲而排开部分介质，就在它的后面造成一个虚空，自然界是不允许虚空存在的，周围的介质便立即填补这个虚空，于是这些介质，又对物体形成了一个向前的推力，物体因而得以继续前进。

但当该物体所受的阻力与推力相等时，它的非自然运动就停止了，抛物体就立即恢复它的自然状态了。

亚里斯多德似乎可以自圆其说，但他的认识与实际相去甚远。

对于自由落体，他认为较重的物体下落速度要快一些，理由是它冲开介质的力比较大。当然，这种认识也是错误的。

亚里斯多德的物理学没有科学试验的基础，他的结论基本上是不正确的。他的错误认识也曾在很长的时期之内，严重地束缚着人们的思想。

不过，他的工作终究是人类对机械运动所作的最早的认真的分析，在这个意义上来说，他的历史功绩也是不应轻易抹煞的。

古希腊人也很早就用凹面铜镜聚焦取火，玻璃透镜的使用也很早。

我们还知道古希腊人对光和视觉的一些看法，而把对光的研究建立在科学基础之上的则是欧几里得。他的著作《光学》和《论镜》，被认为是最早的光学专著。

欧几里得进行了许多光学试验，并且应用几何学方法来加以研究。他已经弄清楚了光的反射定律，即入射角与反射角相等。他还研究了凹、凸面镜的反射。

对于视觉的认识，他却是后退了一步，他不认为是物体发出的光进入眼睛而产生视觉，却认为是眼睛发出一种无形的触须般的“视线”与物体接触，而使人看见。

水往高处流

有一天，少年阿基米德和同学们乘着木船，从尼罗河顺流而下，兴致勃勃地浏览着尼罗河两岸美丽的风光：清新的空气，温柔的风，茂密的树木，肥沃的农田。

正是这次旅行，使阿基米德发明了他的第一件作品：阿基米德螺旋提水法。

原来埃及人一直用尼罗河水灌溉农田，但是河床低，农

田地势高，农民们只好手提肩挑，拎水浇地，又吃力又费功夫。

阿基米德看到这一情形后，心想：如果有一种东西，使水能够向高处流，那该有多好？但是，怎样才能做到呢？

他回住处后，便着手这件作品的研究，经过一个多星期的认真测算，他终于画出了这件物品的草图。

阿基米德找到木匠，向他比划着："这是圆筒，这是螺杆……"

木匠好半天才弄懂这件物品的结构，几天后，聪明的木匠居然按照阿基米德的草图把物品做了出来。

阿基米德眯着眼睛看了看，又摇摇手柄，拍着木匠的肩膀，说道："嗯，还行。"

于是，阿基米德扛着这个怪玩艺，走向农田的庄稼地。

他把螺杆的一头放在河水里，安了手柄的那头放在岸上，轻轻地向着一个方向不断的摇动手柄，只见河水咕咕噜噜地从怪物的顶端冒出来。

一个显然不可能的奇迹发生了：水往高处流！

农民们放下水桶，争着来看阿基米德的发明，既省力又省时间，大大地减轻了劳动强度。农民们把阿基米德抛向天空。

螺旋抽水机很快地从埃及传到外国，人们不仅用它来提水灌溉土地，还用来排积水，扬谷粒，扬沙子。以后这个机械就被称作为"阿基米德螺旋提水器"。

直到今天，有的地方还在使用阿基米德螺旋提水器。至于飞机、大船的螺旋桨，甚至小的螺丝钉，那都是阿基米德螺杆的后代。可见，它影响至深至远。

时代精英

古罗马帝国时期，出现了一位科学家卢克莱修（约前99～约前55)。他虽然没有阿基米德那样才华横溢，但他是那个时代那个时期的精华。

卢克莱修生于罗马，是哲学家德谟克利特的忠实信徒。著有长诗《论物性》，全诗共6卷，7000余行。

在这本书里，卢克莱修描写了自然界的各种现象，总结和反映了当时自然科学的成就，同时阐述了原子唯物主义思想。

他认为世界上除了永远存在着的由微小不可分的微子——原子组成的物质外，没有任何别的东西。宇宙是无限的，是由无数永远产生着、发展着和灭亡着的世界所组成。

世界上物的多样性只不过是物质籽子即原子结合的多样性。物的消失只是原子的分离，但没有一个原子可以被消灭。

在认识问题上，卢克莱修承认世界的可知性，主张感性知觉是认识外部世界的唯一源泉。各式各样的原子——圆形、棱角形、粗糙的、光滑的——作用于人的感官而引起各种不同的感觉。

卢克莱修是无神论者，他批判了宗教偏见，认为宗教是人类罪恶之渊。宗教的根源在于人们害怕尚未认识的自然现象。

世界上最初的神是由于恐惧心理所造成的，只要向人们解释自然现象的真正原因，宗教偏见就会消灭。

卢克莱修的观点在当时人们还未完全摆脱宗教的束缚

时，是一种科学的论断，是唯物主义的具体表现。

到了古代阿拉伯时期，著名学者比鲁尼很认真地研究过物质比重问题，他相当精确地测定过 18 种宝石和金属的比重。他还曾以连通管的原理来解释地下的天然喷泉。

著名的科学家哈兹尼（闻名于 1115～1121）则继续从事比鲁尼测定比重的工作，编成了一个包括许多种固体和液体的比重表。

他注意到水的比重与温度有关，还认识到空气也有重量，认为阿基米德浮力定律在空气中同样适用。

他经过研究分析，他说：大气的密度与高度有关，越靠近地面越大，反之则越小，所以物体在不同高度称量时，所表现出来的重量并不相同。

他因此而提出了一个在物理科学上很重要的思想，即物质的量和它的重量不是同一的，两者成正比关系。

古代阿拉伯人在光学方面做了更多的工作，肯迪（？～873?）是一位学识广博的学者，据说他写过 361 种著作，但这些著作大都失传。他的主要著作之一是关于几何光学和生理光学的，曾有拉丁文译本流传于欧洲。

古代阿拉伯最著名的光学著作是伊本·海赛木（965～1039）所著的《光学》。

在这部著作中，海赛木批判了欧几里得和赫伦的错误观点，正确地指出人之所以能够看见，是物体发出的光线进入眼睛所致。

他作了大量光学试验，认定光线在不同介质的界面上折射时，入射线，折射线和法线在同一平面之上。他不同意托勒密所说的入射角与折射角成正比的意见，不过他也未能找

到正确的关系式。

海赛木还研究了球面镜、抛物面镜以及球面象差的问题，知道了平凸透镜的放大作用，正确地解释了太阳和月亮在接近地平线上时，看起来要比在空中大些的原因。

海赛木的著作很早就被译成拉丁文而流传，欧洲中世纪所有关于光学的著作几乎都受到它的影响。海赛木的工作实际上为近代光学的研究奠定了基础。

总之，物理学的发展自亚里斯多德和阿基米德之后，便陷于停顿。只有在阿拉伯时期，才又有了新的起色。

古代印度的主要成就是在天文学、数学、医学等科学领域，他们也有许多其他技术文明，例如，他们是世界上最早种植棉花的国家。甘蔗在公元5世纪就已大面积种植。

公元前710年，古印度人就会制造银币，公元前330年，就会炼钢。他们在造船、航海等许多方面的贡献也很突出。

东方物理之光

墨家学派

在由鲁国通往楚国的路上，一个穿着粗麻布衣服的中年男子，正在急匆匆地赶路。只见他浑身尘土，汗如水注，但并没有放慢自己的脚步。

一路之上，人烟稀少，路旁有大片大片荒芜的田地，荒地上间或还可以看到横陈的尸体和白森森的残骨。

他是谁呢？是什么原因使他如此奔波呢？

大约公元前450年左右，正值我国历史上的战国时代初期。当时诸侯各自割据一方，称王称霸。各诸侯之间互相攻伐，以大欺小，以强凌弱，兼并战争频频发生。

战争给人民带来了无穷的灾祸，给国家带来无法弥补的创伤。大批的老百姓在战争中死去，家园被毁，国家危亡。人们生活在水深火热之中。

现在，据说楚国的著名机械制造家公输般，正夜以继日，为楚国制造新的攻城器械，准备攻打宋国。这无疑是在无穷的战争中，又撒了一把盐。

这个不幸的消息，激起了这位匆匆赶路之人的愤怒，他就是大名显赫的政治家、思想家和科学家鲁国人墨翟，人们尊称他为墨子。现在，他正要赶往楚国去，准备阻止楚王发

动的不义之战。

经过半个月的长途跋涉，墨子来到了楚国的都城郢，已是非常劳累、疲困，但他顾不上休息，便去见楚王和公输般。

他运用自己的辩才和机智，向楚王和公输般陈述利害，说明了如发动这场不义之战，对两国都不会有好处。

尽管楚王和公输般在墨子面前理屈词穷，但是仍然坚信自己有先进的攻城器械，打败宋国如囊中取物。所以，这场仗是势在必打，任何人劝说均无济于事。

墨子见此，便说道："你说你们有先进的攻城器械，那么，你们真能打败宋国吗?"

说着，墨子便在桌上摆起实物图来，让公输般用他制造的器械来攻打。公输般九次演示了攻城的器械和技术，都被墨子一一击退，公输般失败了。

公输般虽然失败了，但他并不死心，便想阴谋杀害墨子，以赢得战争的胜利。

墨子一眼便识破了公输般的阴谋，便坚定地说：

"你的意思是想先把我杀了，再去攻打宋国，但是，你错了，我的学生禽滑厘等 300 余人，正拿着我的守城器械，按照我的守城部署，正等着你们去进攻呢。

"所以说，你们即使杀了我，宋国同样也是攻不下来的。相反，却落个被天下人耻笑的骂名!"

在看到攻取宋国已经无望的情况下，楚王不得不放弃这场不义之战。这个故事可以使人看到墨子的胆略和才智，是如何的出类拔萃和胜人一筹。

墨子，是墨家学派的创始人，相传是宋国人，后来长期住在鲁国，他是我国古代卓有贡献的自然科学家。

墨子大约出生在周敬王40年（前480年）左右，卒于周威烈王6年（前420）左右，出生于一般的平民百姓家庭，本人曾经当过制造器械的工匠。

在认识论上，墨子重视生产知识，承认外部物质世界的客观性，强调感性直观是认识的来源和根据。这在2000多年前，确实是难能可贵的。

无疑，这也是墨子和他的学派，能够在自然科学中做出重大贡献的重要原因。但是，墨子过分夸大了感性的作用，又陷入了狭隘经验论的错误。

墨家学派的总汇《墨子》原共71篇，现存53篇，其中《经上》、《经下》、《经说上》、《经说下》等四篇合存起来称《墨经》。

这四篇再加上《大取》、《小取》两篇，称为《墨辩》。也有人把这6篇放在一起总称为《墨经》。

这是一部内容丰富、结构严谨的科学著作。书中不仅涉及到社会科学范畴的广阔内容，还包含有时间空间、物质结构、力学、光学和几何学等自然科学方面的内容。

在这部书中，其中有很多问题阐述严密，说理透彻，立论准确，具有十分重要的科学价值。可以这样说，《墨经》在古典哲学和自然科学著作中，是一部不可多得的珍品。

首先，《墨经》中记述了丰富的力学知识。力学，是研究机械运动的科学。《墨经》中有关于机械运动的定义："动，域徙也。"

上面这句话的意思是，物体位置的移动，就是机械运动。这跟现代机械运动的定义是完全一致的。书中又进一步阐述了平动、转动和滚动等几种不同形式的机械运动。

《墨经》中关于力的定义是从人的体力概念引申出来的。书中写："力，形之所以奋也。"这句话的意思是说，力是使人的运动发生转移和变化的原因。

当时，我国人民已经认识到浮力原理，并且在生产中有了广泛的应用。书上写道："形体大的物体，在水中沉下的部分浅，是因为物体重量被水的浮力平衡的缘故。

这说明了墨子不仅定性地认识到浮力同重力的平衡关系，而且有了定量的概念。这和后来希腊学者阿基米德创立的浮力原理是一致的，只是表述得不够完整。

《墨经》讨论了杠杆的平衡问题。设有一杠杆，一头悬挂砝码，另一端悬挂重物。支点的一边叫标（力臂），另一边叫本（重臂）。如果两边平衡，杠杆必是水平的。

《墨经》不仅清楚地叙述了种种杠杆的实验结果，更加可贵的是对这些实验做了正确地解释.

例如，它解释了"标"一端下垂的实验现象，认为是由于力臂和砝码的联合作用大于重臂和重物的联合作用的缘故。

这个解释不仅考虑到力或重的多少，而且还考虑了距离和平衡的关系，虽然并没有得出明确的定量关系，但是实际上提出了力矩的概念。

可以说，墨子已经发现了杠杆的平衡原理。

在《墨经》中，还记载着丰富的几何光学知识。

墨子和他的学生们做了世界上最早的小孔成像实验，并且提出了精辟的解释：

在一间黑暗的小屋朝阳的墙上开一个小孔，人对着小孔站在屋外，屋里相对的墙上就出现了一个倒立的人影。

为什么会出现这奇怪的现象呢？

墨子解释道：这是因为光线像射箭一样，是直线行进的。人体下部挡住了直射过来的光线，穿过小孔，成影在上边；人体上部挡住直射过来的光线，穿过小孔，成影在下边，就成了倒立的影。

墨子并指出，人的位置离墙壁由远及近，暗室里的影也由小变大，倒立在墙上。这是对光直线传播的第一次科学解释。

书中还利用光线直线传播的原理，解释了物体和投影的关系。

墨子认为，光被遮挡就产生投影，物体的投影，并不跟随物体一起移动。如飞翔着的鸟儿，它的影子仿佛也在飞动着，实际上并不是这种情况。

墨子指出，飞鸟遮住了直线前进的光线，形成了影子。在一瞬间，飞鸟移动了位置，原来光线照射不到的地方，旧影就消失了，而在新的地方，出现新的影了。

这就是说，鸟在飞翔中，它的影子并不跟着移动，而是新旧投影的不断更新。在 2000 多年前，能这样深入细致地研究光的性质，做出正确解释，确是难能可贵的。

墨子和他的学生们对镜子成像的原理进行了深入的研究，并提出了平面镜、凹面镜和凸面镜成像的理论。

《墨经》关于凹面镜成像的叙述，没有说明物体在凹面镜球心和焦点之间的时候的成像情况，显然不够全面、严密，但是在科学还处于萌芽时期的古代，不能不说，这是一个了不起的成就。

凸面镜成的像只有一种：像是正立而缩小的虚像，位于

镜子的背面；物体距镜近，像大，反之，就小。墨子在描写凸面镜时，是符合实际的。

在声学方面，《墨子》也有记述，当时设计了一种地下声源定向装置。其方法如下：沿城墙根每隔一定距离挖一口井，挖到地下水位以下约两尺为止，然后在井下放置一个容量七八十升的陶瓮，瓮口蒙上皮革，做为地下共鸣箱。

这时，让听觉灵敏的人伏在瓮口谛听，遇有敌人挖坑道攻城，就可以根据各陶瓮的响声大小确定来敌的方向位置，以便出兵给敌以迎头痛击。

此外，《墨经》中还提出了“端”、“尺”、“区”、“穴”等概念，大致相当于近代几何学上的点、线、面、体。

墨家关于“端”的概念的论述，还包括了“原子”的含义，认为“端”是组成物体的最小单位。

如果这些理解没有错误的话，那么可以说，早在2000多年前，《墨经》中已经出现了现代原子学说的萌芽思想，无论是哲学发展史还是在科学发展史上都占据一定的地位。

从上可知，墨子和墨家学派的科学成就，在2000多年前的古代，应该是相当杰出的。他们所以能够取得这些成就，是和他们重视实验、敏于观察和科学的思维方法分不开的。

以上情况也说明了另一个情况，就是在我国古代，还没有建立在严密的科学实验和严格的数学方法基础上的物理科学，没有形成独立的物理学学科。但是，在实践中却积累了丰富的物理学方面的知识。

鲁班的创造

在前面，我们谈到墨子与公输般之间的争论和演示攻城机械。那么，公输般是何许人呢?

有个成语叫“班门弄斧”，我想连小学生都知道，意思是说，在鲁班门前拿着斧头卖弄技能，太不自量力。

还有一首民谣这样问：“赵州桥什么人儿修?”回答说：“赵州桥鲁班爷修。”在我国传统里，木工、泥瓦工把鲁班当作祖师爷。在人们的心中，鲁班是技巧高超的工匠的化身。

那么，这里说的鲁班又是何许人也?

原来，鲁班和公输般是一人。公输，是他的复姓，般是他的名。后来的人因为他是鲁国人，“般”和“班”同音，古时通用，所以人们称他为鲁班。

鲁班大约生于周敬王十三年（前507)，卒于周贞定王25年（前444)。他出身于世代工匠的家庭。

由于父兄们耐心地传授，加上他勤奋地学习，长大后成了一名优秀的工匠，并有过许多的创造发明。

由于他的创造发明，都是些手工机械，并且这些机械都是根据物理的最基本原理发明出来的，所以，我们把它归于物理学科。当然，这是有些牵强附会。

闲话少说，书归正传。

且说有一年夏天，鲁班家乡鲁国国王要鲁班监工营造一座宫殿，期限为3年。但是这座宫殿所需的木料，足够鲁班等工匠们到山上砍上3年也完不成任务。

这可急坏了鲁班，因为国王的话就是圣旨，是不允许随

便更改的，如果真的是耽误了工程进度，杀头是不可避免的。鲁班愁得连觉也睡不踏实。

为了加快砍伐木料的进度，鲁班每天都要提前上山选择好要砍的树木。这天，天色刚蒙蒙亮，鲁班便迎着晨曦，踏着夜露，提前出发了。

为了节省时间，鲁班便抄小路走，小路上山近，可是坡陡路滑，而且横七竖八地长满了小树、杂草，行走非常不便。

鲁班只好搀着树木、拽着茅草往上爬。忽然，脚底一滑，身体便顺着山坡往下滚去，鲁班急中生智，急忙抓住一把茅草，由于没有抓牢，反而感到手掌心疼痛无比。

滑到山脚，鲁班狼狈地爬了起来，伸开手掌一看，掌心已是鲜血淋漓。鲁班非常惊奇，为何一把茅草能够划破人的手掌。

鲁班顾不得疼痛，沿着滑下来的山坡，爬上去一看，这丛茅草与别的草没有两样。鲁班不甘心，便揪下一根茅草仔细地观察起来。

这茅草的叶子很怪，叶子两边都长着锋利的小细齿，人手握紧它一拽，手掌就会被划破。鲁班又试着用茅草在他的手指上拉了一下，果然又划开一道血口。

鲁班正想俯身探究其中的道理，忽然看到近处有一只大蝗虫，两枚大板牙一开一合，很快吃着草叶。鲁班把蝗虫捉住细看，发现蝗虫的大板牙上也排列着许多小细齿。

鲁班从这两件事中得到启发，心想：如果仿照茅草和蝗虫的细齿，来做一件边缘带有细齿的工具，用它来锯树，岂不比斧砍更快、更好吗？

鲁班忘记疼痛，转身下山，做起试验来。在金属工匠的

帮助下，鲁班做了一把带有许多细齿的铁条。

鲁班将这件工具拿去锯树，果然又快又省力。锯子就这样发明了。这个故事虽说是传说，但是，我们从中却可以得到这样的启发：实践出真知，钻研出智慧。

传说鲁班的母亲和妻子对鲁班的发明创造有很大的帮助。

例如，鲁班做木工活，用墨斗放线的时候，原来是由他母亲拉住墨线头的。后来，母亲在线头上拴一个小钩，这样，一个人操作就可以了。后世木工把这个小钩叫做“班母”，以纪念这个创作。

又如，木工刨木料的时候，前面顶住木头的卡口叫做“班妻”，这是因为传说鲁班刨木料起初是由妻子扶住木料，后来才改用卡口的缘故。

鲁班的妻子云氏也是一位出色的工匠，根据《玉屑》上的记述，伞是她发明的。直到今天，伞仍然是人们日常生活中不可缺少的用具。

鲁班的发明创造很多。不少古籍记载，木工使用很多的木工器械都是他发明的。像木工使用的曲尺，叫鲁班尺。又如墨斗、刨子、钻子等，传说均是鲁班发明的。

这些木工工具的发明，使当时工匠们从原始、繁重的劳动中解放出来，劳动效率成倍提高，土木工艺出现了崭新的面貌。这里面都包含着原始的物理科学知识。

鲁班还是一个很高明的机械发明家。他制造的锁，机关设在里面，外面不露痕迹，必须借助配合好的钥匙才能打开。

《墨子》一书中有这样的记载：“公输子削竹木以为鹊，成而飞之，三日不下。”就是说鲁班制作的木鸟，能乘风力飞上

高空，三天不降落。这可不可以认为，是原始航空科学的先头兵。

鲁班还改进过车辆的构造，制成了机动的木车马。这种木车马由木人驾御，装有机关，能够自动行走。

后世不少科技发明家，如三国时期的马钧、晋朝的区纯、北齐的灵昭、唐朝的马待封等，都受这个传说的影响，相继朝这个方向发展过。

在兵器制造方面，鲁班曾为楚国制造攻城用的器械，在战争发挥过巨大作用。后来在墨子的影响下，不再制作这类战争工具，专门从事生产和生活上的创造发明，以造福于劳动人民。

2400多年来，人们为了表达对鲁班的热爱和敬仰，把古代劳动人民的集体创造和发明也都集中到他的身上。因此，有关他的发明和创造的故事，实际上是我国古代劳动人民发明创造的故事。

鲁班的名字实际上已经成为古代劳动人民勤劳智慧的象征。

指南针的故事

飞机在辽阔的天空中翱翔，轮船在无际的大海中航行，探险队在苍莽的森林中勘察，商旅们在浩瀚的沙漠中跋涉，他们是依靠什么来辨别方向的呢？

大家也许会不约而同地说出同一答案：指南针。可你知道指南针是怎样发明的吗？你知道关于指南针，有许多使人难忘的故事吗？

相传在4000多年前，在中国北方中原地区，黄帝和蚩尤大战于涿鹿之野，战斗持续了半年未有分出胜负。

应该说，黄帝在这场战斗中能够取胜，因为他的部落是一个比较强大的部落，而且他代表着正义。但是，每当战斗即将胜利之时，总是有大雾迷漫山野，让人辨不出方向，所以总是前功尽弃。

黄帝决定派人探个究竟，这雾到底是怎么引起的。于是派一个重要将领随自己上山，侦察蚩尤部落的动静。

黄帝等人到了山上后，各处山谷里全弥漫着悠悠昏雾，雾悄然独自上山，好像一个恶灵，寻找安息之处而不可得似的。粘湿而冷酷的雾缓缓飘来。

只见，浪潮起伏，互相追逐，好像险恶的海面上的波涛。雾的密度封闭了所有景物，就在黄帝准备命令返营时，身边的大将突然发现了一个奇迹。

黄帝随着大将手指的方向望去，只见在蚩尤的大营中，蚩尤正坐在祭坛上，身后幽燕，徐徐作雾，雾从他的口中吐出，慢慢飞出营外，萦绕着山川巨野。

黄帝这才想起这不是自然界之雾，如想破掉雾，必须造出一样东西，使人能够辨别方向，然后才可一举破之。

黄帝回营后，立即吩咐能工巧匠造指南车让指南车认出方向。在指南车造好后的一个黄昏，黄帝率领部落，大举进攻蚩尤。

这时蚩尤再作雾也不灵了，黄帝部落在指南车的指引下，在迷雾中大败蚩尤，结果蚩尤残败，黄帝大胜。

其实，上面这个故事虽然流传很广，但是黄帝发明指南车是不足信的。而且指南车与指南针有着本质的区别。

根据历史记载，东汉时的大科学家张衡倒是确实发明过指南车，但是他的制造方法却失传了，甚为可惜。

到了三国时代，有个叫马钧的发明家，重新造出了指南车。当然，马钧的发明，我们将在后面介绍。

下面这个故事，倒是和指南针有些关系。

据说秦始皇在位时，身边网罗了一批术士来为他寻求长生不老之药。有一天，一位叫徐福的术士奏本说：

“在东方的大海上有三座神山，名叫蓬莱、方丈、瀛州，仙人们都在那里居住。请皇帝让我率领一批男女儿童前往寻求。”

秦始皇很高兴，马上选派了几千名儿童，又为他造了艘大船，让他从现在的山东日照县附近出海。谁知徐福一去不返，不知道他把这些男女少年带向何方。

几千年过去了，秦始皇早已成为历史的陈迹。但徐福渡海求药的故事并没有被人们忘记。有些历史学家认为，当时徐福他们是横渡黄海和朝鲜海峡到达了日本。

如果情形真是如此的话，那么徐福可以算得上中国航海家中的先驱人物，也就是说，徐福最早使用了指南针。

也许有读者会说：“难道徐福非要使用指南针不可吗？比如用太阳、星星定方位，不是同样可以到达指定地点吗？”

不错，这样的确可以，我国古代的人们也就是这样做的。但是，如果碰到那种“阴风怒号，浊浪排空，日星隐曜，山岳潜行”的天气怎么办呢？

再说，这种天气，在大海中是家常便饭。茫茫大海，无边汪洋，如果航向偏离1°，那就可能永远也到达不了目的地。正所谓“失之毫厘，谬以千里。”

当然，我们在这里，也只是猜测而已，不必当真，权且作为探讨。

指南针是利用磁铁在地球磁场中的指极性而制成的。磁铁能够吸铁，也就是我们通常说的吸铁石。

2000 多年前，我国的春秋战国时期，采矿、冶铁业已有相当规模。劳动人民在寻找铁矿的过程中，发现了这种神奇的矿石，因为它一碰到铁就吸住，好比一个慈祥的母亲吸引自己的孩子，所以称它为“慈石”。

《管子·地数篇》中记有：“上有慈石者，下有铜金。”《山海径·北山经》中记有：“西流注于泑泽，其中多慈石。”古人把磁石吸铁比作“母子相恋”。

他们不但发现了磁石的吸铁性，而且还发现了磁石的指极性。每块磁石的两头都有不同的磁极，一头叫 S 极，一头叫 N 极。

而我们居住的地球本身，也是一块天然的大磁体，在南北两头也有不同的磁极。靠近北极的磁性为 S 极，靠近南极的磁性是 N 极。因为同性磁斥的缘故，所以不管在地球什么位置，放置一根磁针，它的 N 极始终指向北方。

但是，最初的指南针，同现在指南针的形状完全不同。最初的指南针是用磁石做成的，它是一块天然的磁石，琢磨成勺子的形状。

把磁石的 S 极琢磨成勺柄，并使磁勺的重心落在圆而光滑的底部中央。磁勺做好后，还得做一个光滑的底盘。

使用的时候，把它放在平置底盘的中央，用手拨动勺柄，使它转动，当它停下来时，勺柄指向南方，古人把这磁勺称为“司南”，就是负责指南的意思。

司南是世界上最早的指南针，中国古籍中有许多用司南来辨别方向的记载。如《鬼谷子·谋篇》中，曾记到有人外出采玉，就带了司南去，以便不迷失方向。

《韩非子·有度篇》记有："先王立司南以端朝夕"，这也是用司南来定方向的记载。

但是，这种用天然磁石琢制司南的方法，技术要求较高，难度较大。因为天然磁石在琢制的过程中，容易因受到震动而失去磁性，所以这种司南得不到广泛的使用。

随着社会的发展，战争和海上航行的需要，人们迫切要求一种制作和使用更加方便的指向仪器。我国劳动人民在长期生产实践中，逐渐掌握了人工磁化的方法，指南针因此得到了很大的发展。

在公元 1044 年，北宋初年，由曾公亮主编的一部军事著作《武经总要》中，详细地记载了一种新颖的指南工具——指南鱼的制法。

"以薄铁叶剪裁，长二寸阔五分，首尾锐如鱼形，置炭火中烧之，候通赤，以铁钤钤鱼首出火，以尾正对子位（北方），蘸水盆中，没尾数分则止，以密器收之。"

这样一来，铁片鱼就被磁化成指南鱼了。使用时，只要取一碗水置于无风处，平面鱼会浮在水面，待它静止时，鱼首所指的方向就是南方。

当然，上面所说的薄铁片，应是一种低碳钢。这种人工磁化法要比欧洲早几百年，直到 1600 年，英国人吉尔伯特才发现使红热的铁棒沿着地球磁场方向冷却而磁化的方法。

当时不但有铁片制成的指南鱼，还有用木头做的指南鱼和指南龟。木制指南鱼，是一块手指大小的木头刻成鱼的形

状，从鱼嘴往里挖一个孔，放进一块磁铁，使它的S极向外，再用黄蜡封口。

使用时，将木头鱼放在水面上，其原理同铁片鱼相仿。但指南龟则不放在水中，而是将龟肚下方挖个小洞，让它顶在光滑的竹签上面，便于自由转动。

指南鱼发明后不久，人们又掌握了一种更好，更方便的人工磁化法，就是用天然磁石摩擦钢针，使钢针磁化。这种经过人工磁化的钢针，可说是正式的指南针了。

这样一来，指南针的制造过程大大简化，为指南针的广泛应用提供了先决条件。

北宋著名科学家曾在《梦溪笔谈》一书中，记述了这种指南针的四种用法：

1. 以磁针横贯灯芯的水浮法；

2. 指甲旋定法，即把磁针放在光滑的手指甲面上；

3. 碗唇旋定法，即把磁针放在光滑的碗口上；

4. 缕悬法，即在磁针中间涂一点蜡，粘上一根线，挂在无风的地方。

水浮法、缕悬法和木刻指南龟用的针顶法，直到现在，仍为航空和航海用的罗盘以及地磁测量仪所采用。

指南针的最大历史功绩是在于航海上的应用。从目前掌握的材料看，最早用于航海的是在北宋。宋代时，航海业已相当发达，与日本列岛和南洋群岛的交往已很频繁，同阿拉伯各国的贸易关系也很密切。

这些海上交通的迅速扩大，是与指南针的应用息息相关。不论天气如何阴晦，航向都可由人来把握。

南宋的《梦粱录》曾写道："风雨冥晦时，惟凭针盘而行.

乃火长掌之，毫厘不敢差误，盖一舟人命所系也。”

元代的《海运篇》中有这样一句话：“航行海洋，不畏深深而虑浅，不虑风而虑礁，……立定盘星以取向。”

上面所说的针盘，盘星就是航海罗盘。明朝的《东西洋考》中说：船出河口，进入茫茫大海，波涛连天，毫无岸边标帜可循，这时就只好“独恃指南针为导引”了。

由此可见，小小磁针，对于海上航行是多么必不可少，对于推动航海业的发展，起到了何等重要的作用。

最著名的航行，有明代郑和下西洋，从江苏刘家港出发到印尼苏门答腊，沿途航线都标有罗盘针路。以后的哥仑布航行抵达美洲大陆和麦哲仑环球航行，也都依赖的是海上救星——指南针了。

中国的指南针大约在公元12世纪传到阿拉伯，然后再由阿拉伯传到欧洲。

那时到中国来的阿拉伯人都乐于乘坐中国船只，因为中国船船身大，结构坚固，航速快。这就为罗盘传入西方提供了条件。

西方在学会使用罗盘后，根据实际需要又进行了科学的改进。由于罗盘在随船体大幅度摆动时，常使磁针过分倾斜而靠在盘体上转动不了。

欧洲人设计了称为“方向支架”的常平架，它是由两个铜圈组成，两圈的直径略有差别，使小圈正好内切于大圈，并用枢轴把它们联结起来，然后再用枢轴把它们安在一个固定的支架上。

最后，把罗盘就挂在内圈里，这样，不论船体怎样摆动，罗盘总能保持水平状态。这种仪器的原理已经是比较近代化

了。

应当顺便指出的是，我国古代科学技术界至少在宋代就已经发现了两个地磁要素，即磁偏角和磁倾角的存在。

北宋大科学家沈括在用磁针做实验时，发现指南针所指的南北与地理上的南北并不完全一致，两者之间存在着偏角，即磁偏角。

沈括指出："常微偏东，不全南也"。这是世界上最早的关于磁偏角的记载。地磁学告诉我们，磁偏角是随着地点的变化而变化的，又由于地磁极在不偏的变化，所以，磁偏角也随之变化。

所以，沈括指出的是"常微偏东"，而不是"恒微偏东"。这说明了沈括已经发现了偏角并非是一成不变的。

欧洲人对磁偏角的最早发现是哥仑布探险的1492年。所以，中国发现的磁偏角至少要早好几百年。

另外，曾公亮所记载的磁化铁叶鱼时，整个鱼身须是倾斜的，只把正对北方的鱼尾没入水中，而鱼首则高出水平。这个实验证明，我国古代的科学家们已经意识到磁倾角的存在。这个发现比纽仑堡罗盘工匠加特曼的同一发现正好早500年。

到了南宋时，磁偏角因地而异的情况更有明确记载，并被应用到罗盘上。所谓"天地南北之正，当用子午。或谓江南地偏，难用子午之正，故丙壬参之。"

这就是说，在地理子午线和地磁子午线一致的地方，用指南针可以；而中国东南部，地理子午线和地磁子午线有一个夹角，所以需要用其他方法来修正一下。

作为四大发明之一的指南针，历来是中国人引以自豪的，

这一发明不但说明了中国古代人民的智慧和观察能力，而且是中国对世界历史发展的巨大贡献。

如果说，科学进步的历史是全世界各国人民共同推动的，那么说，中国古代曾处于这个行列的前面，则是一点也不过分的。

创造指南车

前面我们已介绍了黄帝与蚩尤的涿鹿之战，在这场战争中，由于黄帝发明了指南车，结果大获全胜。

还有一个传说，说是周公发明了指南车，周朝初年，南方的越裳氏派来的使臣迷失了回去的路线，周公制作指南车，派人护送他们回国。

传说毕竟是传说，但它却说明了一点：指南车的发明是为了辨识方向，而辨识方向则是出于远行的需要，远行或是由于战争，或是由于外交，或是由于贸易。

可靠的记载是：东汉，张衡制造指南车，但经过汉代末年的战乱，这指南车没能保存下来，实是件遗憾之事。

但到了三国之时，倒是有一个著名的人物，排出干挠，发明了指南车，这个人物便是三国时期的机械制造家、发明家马钧。

马钧，字德衡，三国时期魏国扶风人（今陕西兴平）。出身于贫寒家庭。他从小就善于动脑，又勤于学习，刻苦钻研，因而成为一个“巧思绝世”的科学家。

三国时，魏蜀两国经常发生战争，有一次诸葛亮出师攻魏，曾经使用一种新式连弩，可以连续发射几十支铁制弩箭。

后来魏军拾到一架，马钧看后说："巧是很巧，但还不算最好，如果再改进一下，效率还能增加5倍！"不过这项革新计划未能付诸实践。

当时，还有一种攻城武器叫"发石车"，可以抛出石块打击敌人。据说当时曹操用这种武器打败了袁绍。

马钧发现，这种发石车不但用人多，花费时间长，而且抛出去的石头速度慢。如敌人在城楼上悬挂湿牛皮，就会挡住石头，落下来就会砸伤自己人。更何况这种发石车只能单发，不能连续发射。

为了克服这些缺点，马钧设计了一种新的攻城武器——轮转式连续抛石机。

他设想，用一个竖置能绕轴转动的大木轮，在轮缘的周围用绳子吊上几十块大石头，然后用机械带动木轮旋转，轮边的悬石也一起旋转，等到旋转速度很大时，按一定节奏断开绳索，就会使石块一块接一块飞射出去，接连不断地打击敌军。

马钧曾经用车轮和几十块砖瓦作过试验，结果完全符合设计要求，接连不断打出去的砖瓦，能飞出几百步远，威力很大。

但是这项发明和连弩机一样，由于统治者不重视，也没有能制造和推广。但马钧的朋友，文学家傅玄很赏识他的才华、支持他的创新设想。

经过傅玄的多方奔走，安乡侯曹羲以马钧不善言辞，讲不出深奥的道理为理由，不同意让他进行试制。所以，马钧始终没有能够把自己的设想变为现实。

对于这件事，傅玄深有感触地说："试验一下，本来是极

容易的事。可是像马钧这样天下知名的巧人，尚且得不到重视，更何况那些不出名的人呢？后来的人一定要以此引为鉴戒，以免重蹈覆辙。”

但是，值得一提的是，马钧制造了已经失传很久的指南车。

指南车又名司南车，是古代帝王出行时候的先驱车。车上站一个木人，伸臂南指，不管车子怎样转动，木人的手臂总是指向南方。也就是方向车。

本来，中国的春秋时已经发明了指南车，东汉科学家张衡也制成过指南车，但到三国时期均已失传了。

魏明帝青龙年（233～236）中，马钧在京城担任给事中的官职。一天，马钧和一部分官员在朝房中谈起了指南车的问题。

当时在场的散骑常侍高堂隆和骁骑将军秦朗都认为，古代并没有什么指南车，都是些文人狂编乱说而已，所以，史书上的记述大都不可信。

马钧不同意这种看法，他说：“古代很可能造过指南车，只是我们没有深入去研究罢了。其实，也并不是多么深奥的事。”

高堂隆和秦朗听后，冷笑说：“先生名钧，字德衡。‘钧’是器物的模型，‘衡’是可以定物的轻重。可你说话连个轻重都不分，难道可以作为模型吗？”

马钧回答道：“空口争论有什么用，不如试验试验，方可见分晓。”

高堂隆说：“试验一下？只恐怕是白花国家的钱吧！”

马钧气愤地说道：“如试验不成指南车，损失的钱，全从

我的饷银中扣除。”

“此话当真?”

“谁和你开玩笑!”

于是高堂隆和秦朗就把这件事报告了魏明帝，魏明帝便命令马钧试制指南车，并限期在半年之内制成。

马钧经过刻苦钻研，在工匠们的帮助下，没多久，终于制成指南车，高堂隆和秦朗在事实面前再也无话可说了。自此以后，“天下服其巧矣，”大家都佩服马钧是一个很有智巧的人，他的名声传遍天下。

值得指出的是，指南车和指南针，虽说用处都是为了指引方向，但性质截然不同。指南针是利用磁性原理，而指南车则是利用齿轮机械原理制成，两者不可混为一谈。

指南车的设计，是我国古代科学技术的卓越成就，西方学者对于我国古代的这项伟大发明，给予了高度的评价，说它是一切控制机械的祖先之一。

马钧制成指南车不久，有人给魏明帝进献了一种叫做“百戏”的木偶玩具，其设计精巧，造型优美，可惜不能动作。

魏明帝问马钧：“你能使这些木偶人动作起来吗?”

马钧回答说：“能!”

“那就交给你改制吧。”

马钧接受任务后，便用木材做了一个大轮子，平放在地上，用水力使木轮转动，同时轮子上设置的木人都一起动弹起来。

木人们有的击鼓吹箫，有的唱歌跳舞，有的跳丸掷剑，有的爬绳倒立，还有的舂米磨面、斗鸡杂耍，栩栩如生，变化无穷，成为壮观多姿的“水转百戏。”

要使这么多的人自己动作起来，其中一定运用了一套复杂的齿轮、凸轮、连杆等传动机构。这无疑体现了我国当时的机械学方面知识和技术水平均是相当高的。

马钧在其他方面，也做出了极大的成就。如改造织花提布机，发明制造灌溉机械龙骨水车等。

马钧的才智是过人的，当时的人们称他为“国之精器。”他不大善于言谈，喜欢独立思考和埋头苦干，这大概是科学家、发明家一种共同的性格吧。

马钧在机械方面的许多杰出创造，使他成为我国历史上著名的科学家之一。他为科学技术和生产的发展作出了巨大贡献。

可是，像这样一位杰出的机械制造家，在当时的社会条件下，却没有得到应有的重视。他后来虽然做了一个“给事中”的小官，却学非所用，这也可说是一种悲哀。

他的发明，创作一再受到阻挠和蔑视，他的科学知识和才能也没有得到充分的发挥，这说明了腐朽的封建制度埋设和浪费了多少的人才呀！

不断发展的造纸术

远古的时候，人们没有文字，用堆石、结绳、岩画、契木、刻陶等方法记事，以后，我们的祖先发明了文字。大约到了3500年以前的殷朝，我国出现了甲骨文。

这时的人们，遇有祭祀、狩猎、战争等等大事，便先占卜，然后行动，而占卜的原因和结果，就刻写在龟的腹甲上。

尔后，古人的青铜冶炼技术达到很高的水平，人们把一

些需要永久保存的文字铸在青铜器或刻在石碑上，这时的文字叫做钟鼎文、石鼓文等。

到了春秋战国时期，人们又采用了新的记事材料，叫“简牍”。“简”是竹片，“牍”是木片。一片竹简一般只写一行字，少数写两至三行字。把刻有一篇文章的竹简串联起来，就叫做“册”或“策”。

简牍比起甲骨、钟鼎、石碑是一大进步，它材料充足，书写容易，收藏和运输也方便。可是连篇累牍，还是显得笨重不堪。

战国时，当时的著名学者惠施，出外游学，用五辆车子装载竹书。此件事，就是成语“学富五车”的来源。其实，他那五车竹书，也不过有现在的几本书。

另据记载，秦始皇每天批阅的简牍文书重达60千克。西汉时，一个名叫东方朔的人写了一篇文章给汉武帝，共用去竹简3000多片，由两个身强力壮的武士抬进宫去，而汉武帝用了两个月的时间，才看完这篇文章。

我们现在有个成语叫“汗马牛，充栋宇”，就是形容简牍之多的。搬运时，牛马累得出汗；储藏时，房屋堆得满满的。

在使用简牍的同时，另一种书写纸缣帛也开始使用。缣帛是蚕丝的织造品，质也轻薄，便于书写。但是缣帛十分昂贵，一匹缣帛的价格相当于360千克大米。

因此，随着社会经济文化的发展，迫切需要一种轻便、实用、经济的书写材料。经过我国古代劳动人民的长期实践和不断改进，一种理想的新型书写材料，终于在汉朝制造出来了，这就是纸。

本世纪以来，在我国新疆、内蒙古和陕西等地，多次出

土了西汉纸残片。经过化验分析，确认它是汉武帝（前140～前87）时期的遗物，主要是由大麻和少量苎麻做原料制成的。

这是已知的世界上最早的植物纤维纸。这一事实说明了早在公元前2世纪，我国劳动人民就已经发明了造纸术。

这种纸由于是在西安的灞桥出土，所以叫它灞桥纸。这种纸的制作比较粗糙，其纤维组织松散，强度比较差，厚薄不匀。所以，开始造的纸质量欠佳，不便书写。

汉代许慎的《说文解字》说："纸，絮，一苫也，从系，氏声。"许慎的这段话，简要而明确地说明，最早的纸是由丝絮漂洗后的残絮制成的。

以后，又经过了约200年，在造纸上有杰出贡献的，应首推蔡伦，他发明了更好的纸。

蔡伦，字敬仲，东汉桂阳（湖南耒阳）人，明帝永平末年（75年或以前），开始在京城洛阳皇宫里当差。章帝建初年间（76～84），任小黄门职务。直到到和帝即位（89），升任中常侍，侍从皇帝。参与国家机密大事。

蔡伦是个很有才能的人，他总结西汉以来用麻质纤维造纸的经验，改进造纸术，利用树皮、碎布、麻头、旧鱼肉等原料，经过精工细作，制出优质纸张。

元兴元年（105），有人将蔡伦的造纸术奏报朝廷，受到汉和帝的称赞，从此造纸术得到推广。为此，汉和帝封蔡伦为"龙亭侯"，所以他组织监制的纸被封为"蔡侯纸"。

从这些资料表明，大约从西汉武帝时期发明造纸术以来，到公元2世纪初的东汉时期，我国已经完成了具有重大意义的造纸技术改革。

其划时代意义表现在如下几方面：

1. 采用了多种原料，解决了造纸原料来源不足的问题。尤其是用树皮做原料，是重大的创造，可以说开创了近代木浆纸的先声，为造纸业的发展开辟了广阔的途径。

2. 工艺上有比较大的进步。多种原料的利用，对工艺提出了新的要求，推动了造纸技术的改革。

其造纸程序可能有这样几个环节：①分离；②捶捣；③交织；④干燥。今天，手工造纸已经基本上被机器造纸所代替。但是造纸的原理和基本的生产工序并没有什么根本的变化。

3. 造纸业从此成为独立的行业，新原料的开辟和新技术的采用，使造纸从纺织业中独立出来，这是造纸发展史上意义重大的转折点。从此，纸的生产得到了迅速的发展。

因此，蔡伦在改进造纸技术方面的成就是不可低估的。

蔡伦由于职务上的关系，有观察、接触生产实际的条件，有机会学习和总结工匠们多年积累下来的丰富造纸经验，所以才能够监制出质量比较优良的纸张，实现了意义重大的造纸技术改革。

所以，汉朝造纸工匠们的创造性劳动是不容忽视的，是值得歌颂的。

自蔡伦制出优良的纸张后，深受人们的欢迎和喜爱，造纸术很快推广到全国各地，简牍和缣帛逐渐被历史所淘汰。

到公元3至4世纪，纸已经基本上取代了落后的简、帛而成了我国唯一的书写材料，有力地推进了我国科学文化的传播和发展。

到了3至6世纪的魏晋南北朝时期，造纸术又不断更新。在原料上，除了原来的麻、楮外，又有桑树皮、藤皮造的纸。

在这一时期，设备上也出现了活动的帘床纸模，用一个活动的竹帘放在框架上，可以反复捞出成千上万张湿纸，提高了功效，减少了消耗。

在加工技术上，加强了碱液（石灰）蒸煮和舂捣，改进了纸的质量。当时已经能够造出洁白光滑、纤维匀细、质地坚韧的优良普通纸和色纸、涂布纸、填料纸等。

北魏贾思勰所著的《齐民要术》中，记载了用楮皮作造纸原料的处理方法，是目前已知的关于楮皮纸的最早记录。

书中还介绍了纸的染潢法，利用黄檗防虫蚝和染色。防蛀纸的应用对于长久保护书籍免遭损害起了重要的作用。

隋唐时期，我国的造纸业已经遍及南北各地，产量和质量大大提高。除了麻纸、楮皮纸、桑皮纸，藤纸外，还能生产出檀皮纸、稻麦杆纸和新式竹纸。

两宋以来，由于雕版印刷术的兴起，印书业的出现，极大地促进了造纸业的发展。各种纸制品已经广泛应用到日常生活中。

到了元明时期，造纸工艺已经相当完备。明代宋应星在《天工开物》一书中，详细地记述了技术复杂的竹纸制作技术，其中包括一些关键性的工序。

比如用石灰和草木灰蒸煮处理纸浆，以加速纤维离解，除去杂质，并且起漂白作用；加"纸药水汁"，使纸浆抄制更加均匀。

随着造纸业的发展，纸的品种也逐渐增多，各个朝代，不同省区都有名纸出产。如东汉末的"左伯纸"；晋朝的"侧理纸"；南北朝的"凝光纸"等。

到了唐宋时期，纸的精加工技术已经达到令人惊叹的水

平。如唐朝的"十色笺"和"薛涛笺"，以及北宋初的"澄心堂纸"等，不仅有多种颜色的区别，而且纸面研磨极为光滑，甚是喜人。

唐代的笺纸制作，极为成功。元和年间，蜀妓薛涛造十色花笺。元稹、白居易、牛僧孺、刘禹锡、杜牧等20余人，先后与薛涛唱和，用的都是薛涛笺。

因而，薛涛笺名传千古，为世人所宝重。但有的书上记载，十色花笺不是薛涛所造而是谢公所制。元费的《笺纸谱》所记，十色乃是深红、粉红、杏红、明黄、深青、浅青、深绿、浅绿、铜绿、浅云。薛涛笺只有深红一种，因而，又称薛涛笺为"红八行"。

不论制造十色笺的是谁，而唐代笺纸已有十色，这是确凿无疑的。

南唐李后主酷嗜文事，对造纸非常关心。著名的有会府纸，长2丈，宽1丈，厚如数层缯帛。而最有名的算是"澄心堂纸"："肤如卵膜，坚洁如玉，细箔光泽，为一时之甲"。这是一种高级书画纸。

宋代，造纸业有了更大的进步，对前代的名纸无不仿造，其中以澄心堂纸制造尤佳。著名书画家均用此纸。欧阳修在撰写《新五代史》时，底稿也是用的此纸。

此外，苏州的"金粟山藏经纸"，浙江的"富阳小井纸"、"赤亭山赤亭纸"，江西抚州的"茶衫子纸"，湖北的"鄂州蒲圻纸"等，都比较有名气。当时，张永自造的纸，胜过宫廷监造的纸，誉为"天下第一"。

而宣纸，可能在唐代就有了。宋末，曹大三避战乱来到了安徽泾县小岭，见当地山多地少，盛产青檀皮，并有洁净

泉水四季常流，就在这里制造宣纸为生。

元明时期，宣纸生产有了进一步的发展。所产的“花格之白鹿笺，蜡砑之五色笺、松花笺、月白笺、罗纹笺为世所喜”。这些纸，是书画家渴求的珍品。

到了清代乾隆时，宣纸生产已十分繁荣，品种达近百种。泾县东乡泥坑汪六吉仰记所造的宣纸，号称“全球第一”。

宣纸的特点是：

1. 洁白。其白色略似莹光，却无莹光之反射，十分柔和。而且白色稳定，百年不变。古人称之为“光白可爱”。

2. 柔韧。贮藏多年的宣纸抖动时，绵软轻飘，几乎没有响声。反复折叠不断裂，浸水提起不破碎。这是由于青檀皮纤维较长，在宣纸中相互缠绕，紧密不散。

3. 韵墨。墨汁落纸，四面渗化，深浅浓淡，层次丰富，无呆板生硬之感，有均匀和谐之趣等特点。

4. 吸墨。生宣纸，不施胶，不涂料。墨汁上纸，渗透纸内。几百年后，还能见到“纸墨之光射目”的情景。

我国的造纸术，最先传到越南和朝鲜。大约在隋朝末年(610)，又由朝鲜传到日本。到了唐代，中国和尚陆续到印度取经，以后，印度学会了造纸。

天宝十年（751），唐朝军队与阿拉伯军队在天山一带交战，许多士兵被俘。被俘的士兵中有很多造纸匠。以后，这些造纸匠就把造纸术带到了阿拉伯。

阿拉伯人塔利比写道:“造纸的方法是由中国的俘虏传到撒马尔罕的。获得这些俘虏的人是齐牙德·衣布·噶利将军。

12 世纪中叶，阿拉伯人又把造纸术传入了欧洲，再经过 400 年，造纸术传到了美洲。19 世纪，澳洲也建立了造纸厂。

这样，可以说我国发明的造纸术传遍了五大洲，大大促进了世界科学文化的传播和交流，深刻地影响着世界历史的进程。

著名的英国科学家弗兰西斯·培根在评价包括造纸术在内的我国古代“四大发明”的时候说：

“它们改变了世界上事物的全部面貌和状态，又从而产生了无数的变化；看来没有一个帝国，没有一个宗教，没有一个显赫人物，对人类事业曾经比这些机械的发现，施展过更大的威力和影响。”

纸的发明，是中华民族的智慧结晶，是对世界文化的伟大贡献，是记载于世界科学史中的光辉篇章。

推动历史的火药

且说在隋朝初年，杜子春去拜访一位炼丹老人。由于两人是老朋友了。几杯酒下肚，三言两语已是半夜时分，于是杜子春和炼丹老人抵足而眠。

却说杜子春由于喝酒超量，总是睡不着。就在三更时分，只听得外面“轰隆”一声巨响，吓得杜子春一跃而起。

炼丹老人也慌忙起床，两人循声来到炼丹房，只见炼丹炉内喷涌出阵阵紫色烟雾，烟雾上窜到房顶，散布室内。转眼间房屋烧了起来，两人吓得直往外窜。

这到底是怎么回事？杜子春问老人，老人也摇头不知，只是嘟哝道：“天火毁了我的房子，天火毁了我的房子！”

真的是天火毁了他的房子？

其实哪有什么天火，他们所看的情景就是火药爆炸的情

景。那火药从何而来呢？

原来，炼丹家们要炼的丹，不外乎有两种，一种是长生不老之药，二是金银。他们用的原料是铜、锡、铅、水银、硫磺、硝石等，用的器具是炼丹炉，而用的燃料则是树木做成的木炭。

因而，硫磺、硝石和炭的粉末，也就不免要混合在一起。而这种混合物就是火药,但炼丹家们一开始哪了解到这些。这些混合物，只要碰上火星或受到敲击，就要爆炸。

后来，爆炸的现象多次重复，这才引起炼丹家们的注意。他们经过细心地观察，不断深入地研究，分析、试验、终于拟制成了一个新的配方。于是，火药就发明了。

火药的发明，从某个炼丹家来看，是很偶然的；而从整个炼丹术的发展来看，则是迟早会出现的。

火药触火即燃，其化学反应式近于：

$2KNO_3+3C+S \longrightarrow N_2\uparrow+3CO_2\uparrow+K_2S+169$ 千卡，

另外还有少许 CO、$K_2CO_3K_2SO_4$。

体积很小的火药，燃烧时产生大量的气体和热量，体积突然膨胀，增至几千倍，因而在密封的容器里会引起爆炸。同时，因不完全燃烧，所以能看到冒烟。

在现在，配制火药很容易，民间流传的“一硝二磺三木炭”，就是火药简易的配方。但在古代发明火药时，可不那么容易。

火药的发明，决不是哪个人的功劳，而应是古代劳动人民集体智慧的结晶。它是随着生产的发展，社会的进步，人们的不断摸索而逐步完成和完善的。

因为古人们首先要对组成火药的三种主要成分的性质和

应用有一个认识过程。早在商周，人们已广泛用木炭来冶炼金属，明白炭是较木柴更好的燃料，伐薪烧炭，遂成了古人们独立的行业。

而硫磺不仅有天然的，同时也杂存于铜、铁矿之中，在冶炼中逸出的硫和二氧化硫，直接地刺激着人们的感官。就在这种接触中，人们逐渐认识到硫不仅对某些皮肤病有特别的疗效，还认识到硫的一些化学性质。

如《神农本草经》中说："石硫黄，……能化金银铜铁，奇物。"即硫能与铜铁等金属化合，特别是认识到硫轻易与水银发生化学反应，获得与天然品接近的硫化汞。

这种性质深受从事炼丹的方士们的注意，在他们妄图将水银炼成"金液"、"还丹"的过程中，常使用硫。

在这种活动中，进而了解到硫含有猛毒，着火易飞，很难擒制。怎样使其药性缓和呢？人们采取一种所谓的"伏火法"。

伏火法即将黑褐两色的硫磺矿经过与其他药品混合、加热或燃烧，变成金黄色或朱砂色、雪白色的硫及其化合物。而火药的发明就产生在这种硫磺伏火的实验中。

硝的引入是制取火药的关键，在长期的生产活动中，古人们认识了硝石。硝石的主要成分是硝酸钾，化学性质很活跃，能和许多物质发生作用。所以在炼丹中，常被用来改变其他药品的性质。

对炭、硫、硝三种物质性能的认识，为火药的发明准备了条件。由于医药学和炼丹活动的发展，特别是人们长期的实践，至迟在唐朝，人们在硫磺伏火的实践中，发现点燃硫磺、硝石、木炭的混合物，会发生异常激烈的燃烧或爆炸。

唐朝初年，有一位药物学家孙思邈（我们另章会介绍到他），在他的《诸家神品丹法》中载有“内伏硫磺法”：

“硫黄、硝石各二两，研成粉末，放在砂罐内，掘一地坑，放砂罐在坑内与地平，四面都以土填实。再用皂角子三个，将其点着放入罐内，使硫磺和硝石混合物烧起火焰。等到烧不起焰火时，再拿木炭来炒，当炭消三分之一，就退火，不等冷，取之。得到的混合物就叫做伏火。”

由此可见，当时的人们已认识了硝、硫、炭混合，会发生剧烈的反应。因而采取措施，控制反应速度，防范爆炸。这是所能见到的有关火药最早的记载。

同类的实验，在唐朝中期一个名叫清虚子的也做过。他在“伏火矾法”写道：

“硫二两，硝二两，马兜铃三钱半。研为末，拌匀，掘坑，入药于罐内与地平。将熟火一块，弹子大，下放里面，烟渐起。”

在这个实践中，同样注意防范混合物的激烈燃烧而爆炸。这种实践方法，是经历了反复实践而总结出来的。

关于失败的教训也有记录，一本名为《真元妙道要略》的炼丹书，就告诫说：

拿硫磺、硝石、雄黄（As_2S_3）密合起来一起烧，会发生焰火，把人们的脸和身体烧坏，还能直冲屋上，把房子也烧光。

这类实验的反复进行，经验不断积累，认识逐步提高，人们终于掌握了火药的配制及其燃烧爆炸的性能。

值得一提的是，我们前面讲了几种伏火法，是为了炼丹而制，而非是为了得到火药。其实他们配方出来的东西就是

火药的萌芽，只不过他们还不知道而已。

有必要提一下，火药并不是用来治病用的，为什么会叫“药”呢？

因为在古代，人们对硝石，硫磺早有认识，曾被作为药材。例如在汉朝的《神农本草经》中，硝石曾被列为上品药的第六位。硫磺也被列为中品药的第三位。

就在火药发明之后，还曾被列入药类，在明朝李时珍所著的《本草纲目》中，说火药能治疮癣、能杀虫、辟湿气、治瘟疫等。

上面只是说它作为“药”的一方面，另一个原因，是全世界古代社会上层人物，都曾热衷于寻找长生不老的丹药，所以炼丹术很兴盛了一阵子。

在中国，据史料记载，秦始皇就相当热衷于寻找长生不老的丹药。到了西汉时期，人们把冶金技术运用到炼制矿物药方面，梦想炼出仙丹。

所以，人们炼丹的目的，也是在寻找一种长生不老之药。所以，火药的“药”字，就是一种治病的药。

军事上大显身手

火药的出现，很快被用到军事上。唐朝末年战争频繁，有位将军在攻城时就使用了“飞机发火”，把城门给烧了，他自己带领士兵冒火登城，浑身也被烧伤。

“飞机发火”实际上是一种火炮。用火药包装在炮上，点着火后向敌人抛过去。有必要解释一下，在没有火药之前，所有的炮都是用来抛石头的。

所以，这里的炮应是"砲"，这在现代中国象棋中还时常看见。但当火药应用于军事之后，砲才写为"炮"。炮最初是为了抛掷发火器而用，除此之外，还有一种火箭。

北宋初年，火药经过不断试验和改进，出现了用火药制成的火箭。据说火箭的发明人叫冯继升。

冯继升的祖父是一个炼丹家，冯继升从小就在火药堆中长大，他最初制成类似现在的鞭炮之类的物品，以供玩耍。后来渐渐发现火药的膨胀力足以使房屋炸毁。

经过慢慢的摸索，发明了火箭。这种火箭是把火药绑在箭头上，用引线点着后射向敌人。引起大火而烧杀敌人或粮草等。

冯继升把此方法献给当时的皇帝，皇帝大悦，遂封给冯继升一个专门监督制造火箭的中级官职。冯继升上任后，曾为北宋立下了汗马功劳，受到皇帝的嘉奖。

在激烈的战争中，火药武器显示了前所未有的威力，进一步引起了人们的重视，随后又创造出火球、火蒺藜等火器。火药的研制和生产也有很快发展。

北宋时，火药的应用已经十分普遍，有了国家的兵工场，叫"广备攻城作"，里面设有"火药窑子作"，就是制造火药的作坊。

宋神宗时，西夏国军队进攻兰州，北宋军队抵抗时，一次就领用火箭 25 万支，比三国诸葛亮"草船借箭"还多 5 万只，而且还是火箭，当时火药生产和运用之广可想而知。

庆历 4 年（1044），宋朝曾公亮等编写了《武经总要》，书中记载了当时的三种火器的火药配方，现转抄于下：

火药成份 / 火器名称	焰硝（两）	硫磺（两）	木炭（两）	其他
毒药烟球	30	15	5	巴豆、砒霜、狼毒等 10 种
蒺藜火球	40	20	5	竹茹、麻茹等 7 种
火　　炮	40	14	(14)	桐油、黄蜡、干漆等 10 种

《武经总要》，这是一部军事百科全书，书中记载的火药配方已经相当复杂，火器种类更是名目繁多。

如蒺藜火球：敌人骑兵奔来的时候，就将火球抛在地上。马脚被刺痛烧伤，马就狂蹦乱跳，骑兵就神慌手乱，以致马翻人仰，自相践踏。此时，我军乘机袭击，必可获胜。

又如毒药烟球：球内除了装有火药，还装有巴豆，砒霜之类的毒药。这种球发射出去，爆炸燃烧，散出毒气，杀伤敌人。

又如铁火炮：火药中掺进细碎而有棱角的铁片，铁片借助火药巨大的爆炸力，四处迸射。这很像现代的手雷、手榴弹。

又如霹雳炮：十几层纸里面装上火药和石灰，火药爆炸，石灰飞扬，可以灼伤敌人的眼睛。

南宋绍兴 31 年（1166），金国的 60 万大军一直打到长江下游，企图一举灭亡南宋。宋朝大臣虞允石赶到采石（现马鞍山附近），率领军队迅速做好迎战准备。

金兵驾驶船只抢渡长江，主帅完颜亮亲自在江边用小旗

指挥。虞允石命宋军战船迎战，同时施放霹雳炮。

这种炮点着后，一下子升入空中，然后落入水中再跳出来，在敌军面前燃烧和爆炸，声音如雷；炮中还散出大量石灰，迷住敌军的眼睛。宋军趁势猛攻，金兵纷纷落水，最后宋军大获全胜。

据南宋诗人杨万里记载：霹雳炮由两节构成，一节装火药，一节装石灰。它可能像现在的“二踢脚”，所以才有那样的威力。

火药不光是为了军事上，有时，还用于娱乐。《武经总要》记载：有一种叫“霹雳火球”的武器，用火点着后，能够发出如雷鸣一样的声音。

后来，每逢元宵节之夜，城市乡村热闹非凡，除了各种各样的花灯外，又出现了焰火。宋朝诗人辛弃疾记录这种焰火腾空的热烈场面时写道：“东风夜放花千树，更吹落，星如雨。”这说明了火药出现了多种形式。

稍后，又发明了管形火器。这一发明比起燃烧性火器、爆炸性火器是一大进步。这一火器的发明人，是南宋时的兵器制造专家陈规。管形火器又叫火枪，这是世界上出现的第一把“枪”。

这种火枪是以竹筒制作，竹筒里装满火药。打仗时，由两个人拿着，点了火发射出去，烧杀敌人。到了元代，已有金属制作的管形火器，这可以说是火器革命的一次飞跃。

在中国历史博物馆中，现在还存有一尊元朝至顺三年（1332）造的大钢炮。这是世界上最早的大炮。这种金属制成的管形火器，射程远，威力也特别大。

到了开庆元年（1259年），安徽寿阳制造出突火枪。突火

枪是用粗毛竹做成的，竹筒里放火药，还放一种叫“子窠”的东西。用火把火药点着后，“子窠发出，如炮声，远闻百五十余步。”这种枪就是原始的发射子弹的火器，而“子窠”可能就是最早的子弹。

诸位读者还记得《水浒传》中的“轰天雷”凌振吧。他就是个火器制造专家。他制造的炮威力极大：“石炮落处，天崩地陷，山倒石裂，一片残迹。”

凌振还制造了一种子母炮，每一个母炮周围连接49个子炮，母炮一发，子炮俱响，群弹如滚雷疾风行空而去。这在当时，是最新、最神奇、最有杀伤力的远战武器。

明代，火器又不断地发展，又发明了以火药之力推进的火箭。这种火箭的上面有一个纸筒，筒内装满炸药，筒尾接上了引火线。

引火线点燃后，火药燃烧，迅速产生大量气体，从筒尾喷出，喷气的反作用力推动着火箭向前飞行。

那时的火器中还有“集束火箭”、“震天雷炮”、“神火飞鸦”等。集束火箭就是把几十枚火箭捆绑在一起，威力极大；震天雷炮，是把火箭装有翅膀，乘风疾飞，震声如雷，其杀伤力更是巨大无比。

而神火飞鸦，则是用竹蔑扎成乌鸦，体内装满火药。点燃火药，乌鸦能飞100多步，然后坠地爆炸。一时间，烈火腾空，烟焰弥漫，在陆上可烧军营，在水上可烧兵船。

那时的火箭在军事上起到极大作用，于是火器专家们想出各种各样的绝妙方法。如“一窝蜂”一次可以发射32支火箭；“百花齐奔箭”一次可以发射100支火箭。想想这么多火箭，一下子飞入敌群，其惨像目不忍睹。

还有一种火箭名为“二级火箭”，主要是用于水战的火箭。火箭筒为木制或竹制，长约 1.7 米，龙形。

作战时，点燃龙身下面的火箭——一级火箭，推动着火龙贴着水面飞行；一级火箭内的火药将要烧完，立即引燃龙嘴里的火箭——二级火箭，飞向敌人。

想这火龙飞行之时，昂头张口，呼啸着挟着劲风，疾进中映着火光，犹如无鳍的游鱼，敛翅的飞禽。忽然间，口中火光一闪，直奔敌船，真是气势如虹，威风凛凛。

这个时代，还有一种奇特的火箭值得一叙。那就是“飞空砂筒”。据明代茅元仪的《武备志》上记载：

“这种火箭有一个小筒子，连在竹杆的一端，筒内装了火药和细砂；竹杆上绑着两个方向相反的‘起火’点燃正向的‘起火’，推动砂筒飞行，砂筒抵达敌方上空，砂筒坠落爆炸。同时，反向的‘火’点燃，竹杆又自动地返回发射点。”

这好像是一种现在的无人驾驶飞机，自动投弹后又自动返回。从此事可知，古人们的火箭技术已达到了一定的高度。

千万不要小看这些最早的自行火箭，它同我们今天发向宇宙太空的火箭，利用的是一个完全相同的原理，也可算现代的三级火箭和航天飞行的鼻祖。

还有一件事，比较有趣，但它又包含着人们渴望了解火药的多种功能，下面记录的就是这件事。

14 世纪末，外国人赫伯特·瑟姆写了一本书。书中说：当时中国有位官员，手拿两个大风筝，绑坐在椅子上，椅子下面装上 47 枝火箭。他设想，点燃火箭，推动椅子升空。再借助风筝，在空中飞行。

我们可以这样说，这位官员的装置可谓是原始的喷气式

飞机。当然，他的设想是不会实现的，即使上天了，那结果就是粉身碎骨。但古人们的创新精神是不可抹煞的。

也就是这种创新精神，才有了现代社会的人造卫星上天，飞机翱翔于天宇和一系列根本性的革命。

火药火器的传播

中国的火药制造方法，最早是由商人传入阿拉伯，时间大概是1225～1248年间。但是中国的火器则是在元代，通过战争方式传入阿拉伯的。

1218年，成吉思汗西征，打到中亚西亚，然后经过波斯，到了伊拉克。在阿姆河之战中，蒙古军队使用了毒气烟球、火箭、火炮等火器，取得了阿姆河大捷。

1258年，蒙古军队在攻打伊拉克和叙利亚时，又使用了火器。当时的战斗形式，主要是人与兵械相斗的近战，其次是发箭、滚石、放水等远战。

不论在近战中，还是在远战中，火器的杀伤力都很大。火器使阿拉伯人吃了大亏。他们对这些火器立即研究，不久，便掌握了制造火器的技术。

有些阿拉伯兵书记载了蒙古兵使用"铁瓶"的情况。据说，这铁瓶就是"震天雷"之类的火器。

又一种阿拉伯兵书说，当时阿拉伯人学会制造两种火器，一种是"契丹火枪"，用于近战；一种是："契丹火炮"，用于远战，在水战中可以轰击敌船。契丹，是他们对中国的称呼。他们还根据火铳的制法，创造了各种火器。

1253年，旭烈兀西征，征调汉人工匠千余人随征，其中

有制造火器的。1260 年，旭烈兀占领伊拉克，叙利亚等地，威胁埃及。

埃及马木路克苏丹在叙利亚的大马士革以南击溃蒙古军队，大批蒙古兵投降。从此，马木路克获得了火器和制造火器的工匠。

1236 年，蒙古军队西征欧洲，势如破竹，至 1241 年，先后占领俄罗斯、波兰、匈牙利和日耳曼东部。

在波兰格尼兹战斗时，波兰士兵说：蒙古兵用了一种妖术，大旗一挥，出现一些怪物，滚地如球，口吐烟雾。那烟雾臭恶无比，将波兰士兵熏倒在地。

烟雾过后，蒙古兵就冲杀过来。这所谓的怪物，显然是毒烟球。波兰士兵说是妖术，是由于他们还不知道火药为何物，也从未见过火器罢了。

当时，蒙古兵是单骑作战，驰骋自如，飘忽如风，近取马刀砍杀，远则利箭射取。而欧洲人却是马车作战，几匹马拖一辆车。奔跑累赘，转动笨拙。

战车一遇上凶悍的蒙古兵，就不堪一击，而四处溃败。几次交战之后，欧洲人闻风丧胆，唯恐逃避不及。因此，他们没有可能去研究火器，从而发现它的奥秘。

那时的欧洲处于历史上的一个黑暗时期，即欧洲中世纪时期。这里旱灾严重，疫病猖獗，战争频频，政治腐败，经济衰敝，生活悲惨，人心闭塞，文化落后，它比阿拉伯地区和中国落后得多。

这时的元朝凭借武力，在中亚、西亚和俄罗斯建立了一些汗国。各个汗国设有完善的驿站，并且尽力保护商道。

于是，1000 多年来时断时续的东西海陆交通，这时就畅

通无阻了。中国的罗盘、火药、印刷术、造纸术等辗转传入欧洲。

中国的造纸术传入欧洲，造成了欧洲造纸业的兴起。造纸业和印刷术的兴起和传入，推动了出版业的发展。出版业的发展，又促进了翻译工作的昌盛。

欧洲人翻译了大量的阿拉伯文书籍,其中有关于火药的。这时候，他们才知道火药这个力大无比的神奇的东西。

英国人罗哲尔·培根在他的书中提到火药时说：

“有一种拇指般大小的东西，由于硝的爆炸，会发出可怕的声音。这个用羊皮纸包裹的小东西，声音比疾雷还响，火光比闪电还强，威力巨大。”

那时的欧洲人同培根一样，还只是把火药当作神奇的东西谈论，但还不知道怎样制造火药。

欧洲和阿拉伯国家断断续续打了几百年仗,在西班牙、小亚细亚以及地中海的一些岛屿都打过，最重要的是欧洲十字军东征和阿拉伯人的抵抗。

由于阿拉伯人早就学会了火药、火器的制造，所以欧洲人在许许多多的战斗中，都吃尽了苦头。

如在 1325 年，阿拉伯国家攻打西班牙，用抛石机发射“火球”，巨响如雷，烈焰冲天，烧毁房舍，杀伤人畜。

苦头教训了欧洲人，激发了他们研究火药、火器制造的愿望。1326 年，英国人制造了铁火瓶；1345 年，法国人制造了铁炮，1357 年，英国制造了名叫“提拉尔”的火器。

欧洲人制造这些管形火器，从结构和材料上来看，都不如中国的管形火器先进。因为，我国的管形火器是铜铸的，使用比较方便，效果也比较好。

欧洲学会了火器制造方法之后，积极发展火器制造。在近代科学兴起后，他们的兵器制造很快就走到了世界的前列，这才有了机关枪、迫击炮，甚至火箭、导弹之类的武器。

恩格斯曾说："现在已毫无疑义地证实了，火药从中国经过印度传给阿拉伯人，又由阿拉伯人和火药武器一道，经过西班牙辗转传入欧洲的。"

所以，恩格斯对中国火药的发明，在人类历史，特别是在西方现代文明历史进程中的巨大作用，都作了不容置疑的肯定。这不能不说是中华民族的光荣和骄傲。

中国火药的发明，对我国和世界的社会经济的进步和科学文化的发展，都起了巨大的作用。而火药的发明与古代的炼丹家们又是分不开的。

炼制不死之药

却说在远古时期，人们的生产水平很低，对生活享受的要求也很少。随着社会的发展，生产力的提高，统治阶级的物质享受较前也大为增加。

于是，那些皇帝、贵族们的欲望就越来越大，他们或者想长生不老，以便永远享福；或者想制造金银，任意挥霍。

在这种情况下，出现了一批以求仙、炼丹为业的人，来迎合统治阶级的心理。这批人就叫"方士"。根据历史记载，我国早在战国时代就已经有这些方士了。

据说秦始皇不愿老死，听了方士的话，曾经派了童男童女去海上寻找长生不老药。但大海茫茫，出去之人无人返还。

由于出去寻找仙药风险实在太大，于是就有人动手炼制

“仙丹”，产生了炼丹术。在汉朝时，汉武帝刘彻就是一个贪生怕死之人，一心想成仙。

汉朝的方士李少君看到这种情况，就建议说：“只要祭了灶神，丹砂可以炼成黄金；再把这黄金做成器具盛东西吃，就会长寿，就会看到大海上蓬莱仙岛的仙人，这样就可以长生不老了。”

其实求仙和炼仙丹，都是古人的空想。而炼出来的所谓的仙丹，常常吃死人，皇帝吃死过好几位。但是，他们不说是中毒死的，却说是“尸解”了，仿佛是成了仙似的。

古往今来有数不清的人在追求长生不死，为此，他们耗费了无数的精力和财富。由于古代君王们迷醉于长生不死药的炼制和探求，还出现过许多笑话：

古时候有个十分聪明的大臣，整天侍奉着君王。有一天，一位自称是得仙人高传的术士，来向君王进献长生不死药。

这位大臣一听就知道这是个骗子，他不露声色地站在一旁观察。只见那个术士跪在殿前，双手将托盘高举，盘内盛了一只不知什么做成的小药丸。

君王一见，喜出望外，连忙走下王位伸手去拿不死仙丹。就在这时，大臣抢在君王前面，手疾眼快地一下抓过药丸吞进嘴里。君王先是一愣，随后便大怒：“好个混帐东西，竟敢抢吃寡人的长生不死之药！来人哪，推出去，把他斩了？”

两边卫士上前抓住大臣。大臣却不慌不忙地说：“陛下，容臣说完一句话再杀也不迟。”

君王喝道：“你还有什么话？快说！”

大臣说道：“陛下，献药的人说这是长生不老之药，可是臣吃了却立刻就要死了，可见这药根本不是什么不死之药，而

是地道的假药。是不是？君王。”

君王一听，对呀！不觉转怒为喜：“贤臣请起，若非你的提醒，寡人险些让这骗子给骗了！来人哪，给我把这骗子轰出去！”

这位聪明而机智的大臣就这样戳穿了一位骗子的把戏。这件事发生在两千多年前，可见那时的人们对不死仙丹的迷醉程度。

炼丹术带来化学科学的兴起

虽然炼丹术不能得到长生不老的灵丹仙药，但是伴随着迷信炼丹术的是化学科学的起源，使得人们的化学知识得到了提高和丰富。这是开始的炼丹术始料不及的。

首先是发现了某些金属的化学反应。

古代炼丹的方法分为火法和水法两种。所谓火法，就是像《西游记》中太上老君用火烧炉子，直接加热的方法。

火法大致包括煅、炼、炙、熔、抽、伏等方法。煅就是长时间高温加热；炼是干燥物质加热；炙是局部烘烤；熔即加热使物质溶化；抽即蒸馏；飞是升华；伏是加热使药性改变，不是原来的物质。

炼丹术最早使用的材料大概是朱砂，就是红色硫化汞。朱砂一经用比较低的温度加热，就可以分解出水银，而水银和硫磺又容易化合生成黑色硫化汞，再加热使它升华，又复红色硫化汞状态。

大概就是这种容易观察和发生的变化引起古人的好奇和兴趣，他们搞不懂一会儿黑，一会儿红，一会儿又是亮晶晶

呈液状但却不流散的水银会有多种神奇的功效。

他们想，既然物质可以变化，那么当然也能用别的东西制取黄金，点铁成金。于是人们深信不移炼丹的功效。

反复的实践做了又做，人们对这种变化已十分熟悉。在中国东汉和西汉时期，就有人生动地描写了水银容易挥发，容易和硫磺化合的特性，并讲到了炼丹家们在炼丹炉前观察“赫然还丹”的过程。

到唐朝以后，炼丹方法更加精细，汞和硫都有一定比例，加热有一定火候，操作有一定程序，最后炼出“化为紫砂，分毫无欠”的结果。

其实，紫砂就是朱砂，看来，红色的硫化汞是炼丹家们用人工合成的第一种化合物。这不能不说是化学科学史上的一大成就。

由此可见，我国最早的创始的炼丹术，是近代化学的前身。其次，古代炼丹术使人们得到了一些合金，懂得了怎样制造合金。

由于汞很容易和其他一些金属形成汞齐（汞合金），所以炼丹家们很早就注意到这种现象。中国东汉时有个炼丹家，叫魏伯阳，他在一本书上写道：

“卒得金华，转而相亲，化为白液，凝而至坚。”

魏伯阳制出的合金，除了含锡的锡汞齐，还有含金、银、铅等金属的汞齐。

到了宋朝，炼家们利用金汞齐制造金粉。先制成金汞齐，再加入食盐，然后蒸发掉水银、溶掉食盐，留下来的就是粉末状的黄金。这就是炼丹家们所孜孜以求的“神丹”。

第三，古代的炼金术，使人们认识了更多的化学物质。

炼丹要用药物，这些药物大半是化学上的化合物。在大量的，长期的实验中，人们认识了越来越多的化学物质。这些物质均是炼丹常用的，大致有 60 多种。

正是在炼丹术盛行的时代里，化学也像寄生物一样发展起来，所以，恩格斯说："化学以炼金术的原始形式出现了。"

这种以炼金术出现的化学，虽然在益寿延年和创造财富方面，一点也帮不了统治者的忙，但促进了化学科学的兴起。逐渐地，化学科学从炼金术的母体中破腹而出，成为独立的化学工业部门。

从这一点上来说，炼金术为创造人类的物质文明也多少做出些贡献。

毕升与活字印刷

在中国宋朝，有个贫民百姓毕升，是从事古代雕版印刷的工匠。有一天，他和孩子回乡祭祖。这是在清明时分的一个日子。

蓝湛湛的天空像空阔安静的大海一样，没有一丝云彩。空气湿润润的，呼吸起来感到格外清新爽快。

阳光下，周围远山就像洗过一样，历历在目，青翠欲流，它看去好像离眼前挪近了许多，也陡峭了许多。渠岸堤上的杨柳，已经把鹅毛似的飞絮漫天漫地地洒下来。

毕升带着他的两个儿子匆匆走在乡间村道上，不觉离乡又是一年的时间了，毕升感叹道。走到一个村口，毕升说道："我们先歇息一会吧！"

14 岁的大儿子和 11 岁的小儿子听到父亲这样说，便跑

到村里的一片空地上，看村里的孩子们用泥做家家玩。

不知什么时候，毕升站到了儿子们的身后，认真地看了看村童们用泥做的锅、碗、瓢、勺以及小人们。他拿起一块熟泥，试着在泥上面刻字，他想："若把一个个方块单字用泥刻成印章的形式，又会怎样呢？"

毕升禁不住心跳起来：如能把单字刻成印章，然后按照文稿的意思排列起来，不就形成句子和文章了吗？"

毕升越想心里越活络："这种粘土泥取之不绝用之不尽的，而且做好模型后，放到窑中一烧，又硬花钱又少，比雕版印刷经济多了。雕版印刷用完一次就要把原版扔掉，而这些印章制成的版，下次再取出这些字，重新排版，还能再使用，岂不一举数得。

毕升想到这些，再也按捺不住内心的激动，忘记了清明祭祖，带领儿子们，连夜返回城里，进行实验。

却说在上古时代，人们用竹简刻字。而这些竹简文书，为了防止被人私拆，捆扎后用蜡封绳，盖上白文印，蜡上即现出突出的字。

上古至秦汉时期，印文都是刻的正字；秦汉以后，印文才有反文。到东晋时，道教徒为了广泛散发印咒，就刻了符咒印章。

有一颗符咒印章，四寸见方，共刻了120个字。南北朝时，有了更大的印章，长1尺2寸，阔2寸5分。这些大印章，便是未来雕版印刷的雏形。

而碑文，可能是雕版的又一雏形。175年，蔡邕向东汉灵帝建议，将五经刻在46块高大的石碑上；碑立在太学门前，以便学生拓印。

南唐先主李弁，鉴于古代墨宝日渐消失，为了保存真迹，传之久远，就将宫中珍藏的古人书法珍品交给徐铉，命徐铉负责刻石立碑，以便拓印。

由于石碑主要刻的是书法珍品，所以书籍还是靠手工抄写流传。抄写一本书，往往旷日费时。特别是手抄卷帙浩繁的巨著，更是容易出错。

所以，书籍的复制非常困难和缓慢，除了官府和巨富，私人藏书十分罕见。历史的发展需要有代替手抄的更好的传播文化的方法。于是雕版印刷术出现了。

大约在唐代初（7 世纪），中国劳动人民在古代文人刻印章和拓碑文这两种方法的启发下发明了雕版印刷术。

雕版：选用坚硬而不易变形的枣木或梨木，锯成长方形的板，刨平，涂上薄薄的浆糊，将写好字的纸反贴上去，使板上呈现反写的字，然后雕刻出突起的字。

雕版印刷：用一把刷子蘸墨，刷在雕版上；将白纸在刷过墨的雕版上铺好，再用一把干净的刷子在纸上刷过；揭起刷过的纸张，一面白底黑字的书页就印好了。

用这种方法可以清晰地复制出成百上千部同样的书，这比逐字逐句地人工抄写，速度要快得多，质量也有了保证。

现存的最早的雕版印刷品，是被英国斯坦因盗走的《金刚经》。它现存于英国伦敦博物馆。

《金刚经》是世界上第一本有插图的刻印本。它长约 1 丈 4 尺，宽约 1 尺，卷末刻有“咸通九年（868）四月十五日雕”。这部书雕刻精美，图象和文字浑朴凝重，黑色均匀鲜明，印刷技术达到很高水平。

据研究，这部《金刚经》的制作，是用 6 块大约 1 尺宽

2尺长的板雕刻出文字，又用一块板雕刻出扉画，一起印出来，粘连成文，然后装轴成卷。这是我国古代文化的珍宝。

到了宋朝，雕版印刷事业发展到了全盛时期。这时，不仅有政府的"官刻"和"监刻"，民间刻书业也很盛行，并遍及全国各地。

当时四川、福建、杭州等地雕版印刷术最为发达，刻书不但多，而且精致讲究。宋朝以后，出现了铜版雕印和别开生面的彩色套印，这说明雕版印刷技术已经达到了极其纯熟的程度。

雕版印刷对文化的传播起了重大作用，但是也存在明显的不足：

一是刻版费时费工费料，刻一部书需要很长时间和很多木料。如果是一部卷帙浩繁的巨著，就得花费几年甚至更长时间，而且刻出来的书版存放不便。

例如，宋太祖开宝年间（968～976）刻印的《大藏经》，5000多卷，13万页，共雕版13万块，雕刻时间竟花了20多年，雕版存放了整整6个大房间。

二是雕版中如有错字错句，更改也很困难。何况如果出版过的书不再重印，一大堆雕版就成了废物。而要印制新的书，又需要从头一版一版地雕刻。

有什么好办法来弥补雕版印刷的不足呢？

于是，人们又进行了坚持不懈的努力，后来终于获得了重大突破，发明了活字印刷术。而发明活字印刷术的就是我们前边叙述的平民百姓毕升。

再说毕升祭祖未成，连夜奔回城里，找来刻字的老师傅，把自己在途中所想的办法，一古脑儿地倒了出来。刻字师傅

们为毕升的巧思所折服。

据研究分析，毕升的活字印刷程序应是这样：

第一步：造活字。

选用细腻的胶泥，制成一个个小型方块，每块上面刻上一个阳文反手字，然后用火烧硬。每个字都做了好几个同样的活字印，像“之、乎、者、也”之类的常用字，则干脆做了几十个，以备反复使用。

若排版时发现没有预备好的冷僻字，就临时用胶泥刻制以草火烧，很快制成。为便于拣字排版，毕升把活字印按照字的韵目分别放在木格子里。

第二步：制版。

制版就是按照稿本字句段落，将字印放在盛有作为粘合剂的松香、蜡和纸灰的铁板上，并在四周围上铁框，然后把它放到火上加热，使粘合剂熔化。

当粘合剂稍微冷却而仍有粘性时，用一块平板在排好的活字上加压，把字面压平整。当粘合剂完全冷却固结后，就可以付印。

第三步：拆版。

印完后，把印版拿到火上一烘，粘合剂重又熔化，一个个活字便可拆下来，再供下一次排版使用。

为了提高效率，毕升采用两块铁板，一块板印刷，另一块板排字，互相交替使用，印刷效率加快许多。

如果说雕版印刷与手抄相比是一次飞跃的进步的话，那么活字印刷更是一次划时代的革命。这是因为：

一、胶泥柔韧，比起坚硬的枣木容易奏刀，而且来源广，成本低。

二、活字，用则排版，不用则撤版，发现错字，即可更换，而且活字平时储藏占屋不大，没有虫蛀之患。

三、两副版或多副版印刷，节时省工，成书速度大大加快。

毕升发明的活字印刷，包括了造字、排版和拆版一整套完备的过程，其原理与现代铅字排版基本相同。它的每个环节，都包含着许多科学知识，解决了不少实际问题，所以说，毕升的发明是伟大的。

至于毕升在发明活字印刷中是怎样思考的，我们不得而知。因为面对着字与版这个不可分割的整体，能够想到“整体——许多个体——整体”的方法，是一个难能可贵的创造性的思维。

一般的人往往习惯于既有的事实，感觉不到有什么可以改变。而伟大的发明家，正是从不可变中想到可变。从无形中见到有形，从旧中创造出新。

所以说，毕升也是伟大的。

活字印刷术的发明，是印刷史上的一次重大革命，随着社会的发展，毕升发明的活字印刷术，被愈来愈多的人所接受，并不断地加以改进，在我国和世界上得到了广泛的传播和发扬光大。

王祯的发明

到了元代，著名的农业科学家王祯又成功地制作了木活字。其制作方法是：

首先，在板上刻字，用细锯将字锯开，用小刀修整得大

小高矮相同，这就相当于胶泥活字火烧而成。

其次，排字成行，用竹片将字夹紧，竹片相当于“条形铁范”。

最后，待一版排满，用木椾椾牢，使字固定不动。木椾相当于熔化的松香和蜡。

此外，王祯还发明了转轮排字架。他用木料做成了一个大轮盘，轮盘里分成一个个小格子。一个叫杂字轮，专摆常用的木活字；另一个叫韵轮，不常用的木活字，按音韵分类，摆在韵轮的格子里。

拣字排字时，两人合作：一人按原书“唱字”，另一人坐在两盘中间，一手拣字，一手执盔（后世的排字手盒），拣出的字排在盔内。这样的拣字排字，比起边走边拣边排，动作既快，人又不太累。

1298 年，王祯用木活字和转盘排字，试印他编著的《旌德县志》，全书 6 万字，不到一个月，就印了 100 部，其效率之高是雕版印刷所不能比拟的。

此外，王祯还写了《造活字印书法》，这是世界上最早的系统叙述活字印刷术的文献。

到了明孝宗弘治元年（1488），又出现了用字模浇涛的铜活字，开始使用铜字印刷。到 16 世纪初又出现了铅活字。

随着活字印刷术的不断改进，印刷规模也越来越大。我国古代历史上规模最大的印书活动在清代。比如用铜活字印刷的篇幅一万卷的著名百科全书《古今图书集成》。

而 143 种著作的《武英殿聚珍版丛书》，则全部是用木活字印刷的。但这些都已是 18 世纪中期的事情了。